VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

И. Т. ЗОТКИН

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ

2150

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1961

Ответственный редактор
В. В. ФЕДЫНСКИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Метеорные явления вызываются вторжением в атмосферу Земли с космической скоростью (11—72 *км/сек*) метеорных тел. Обычные метеоры 1—5 звездной величины порождаются телами с массой в десятые и сотые доли грамма. При полете метеорного тела через атмосферу происходит его бомбардировка молекулами и атомами воздуха, потеря массы вплоть до полного испарения, возникает свечение и ионизация воздуха вдоль траектории, а под конец полета и значительное уменьшение скорости. Метеорные явления происходят в основном на высоте 70—100 *км*.

Ежесуточно в атмосферу Земли влетает огромное количество метеорных тел. Относительно их общей массы имеются различные оценки, доходящие до тысяч тонн. Это говорит о наличии в межпланетном пространстве большого количества метеорных частиц, которые движутся вокруг Солнца либо в одиночку, либо образуя потоки.

Изучение метеорной материи, ее плотности, распределения и движения представляет собой важную задачу. Ряд проблем космогонии, т. е. происхождения и развития планетной системы и Земли, связан с метеорами. Метеорная бомбардировка Земли влияет на состояние верхних слоев атмосферы, в частности на ее ионизацию. Велико значение метеорной астрономии в астронавтике, так как встреча с метеорными телами представляет собой одну из серьезных опасностей при межпланетных перелетах.

Специфично для метеорной астрономии то, что она имеет дело с кратковременными и внезапными явлениями. Метеорные тела наблюдаются только в момент прекращения своего существования в течение десятых долей секунды на коротком участке орбиты. Поэтому долгое время глаз наблюдателя был единственным прибором, способным регистрировать метеоры. В настоящее время для наблюдений метеоров широко применяется фотографирование, радиолокация, делаются попытки

фотоэлектрической регистрации [1]. Однако визуальные наблюдения не вытесняются этими инструментальными методами, а дополняют их.

Настоящая инструкция охватывает в основном все разделы метеорной астрономии, доступные любителям. В ней рассказано о цели каждого вида наблюдений, технике проведения наблюдений и о некоторых методах их обработки. Она рассчитана на то, чтобы наблюдатель в результате своей работы получил материал, полезный для решения научных вопросов.

В составлении инструкции принимали участие также В. В. Мартыненко, Е. Г. Симакина, А. К. Терентьева, Р. Л. Хотинок.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ

Рассмотрим основные вопросы организации наблюдений.

1. Наблюдатель должен ясно представлять себе, для получения каких сведений проводится данный вид наблюдений. Нанесение на карту, например, делается для определения радиантов, счет — для определения численности метеоров, фотографирование — для нахождения точных радиантов, высот и скоростей. Планируя наблюдения, надо четко сформулировать задачу, которая будет определяться возможностями и квалификацией наблюдателя. Нельзя наблюдать метеоры «вообще», если наблюдатель желает, чтобы его работа принесла пользу науке.

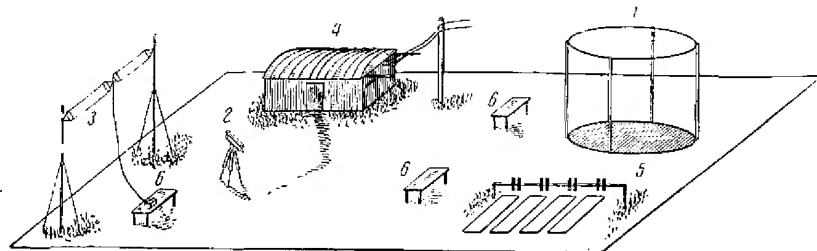
2. Ценность и возможности наблюдений возрастают, когда наблюдения ведутся группой наблюдателей. Многие виды наблюдений вообще нельзя вести в одиночку (базисное фотографирование, многократный счет и т. п.). Коллектив наблюдателей может обеспечить наблюдения в течение длительного периода, а длинные ряды однородных наблюдений резко увеличивают ценность исследования.

Группа наблюдателей может гораздо успешнее оборудовать наблюдательную станцию и подготовить приборы, чем любитель-одиночка.

3. Большое влияние на качество наблюдений оказывает оборудование наблюдательного пункта. Опыт многих отделений ВАГО показывает, что проведение систематической работы, особенно в зимний период, требует организации постоянной метеорной станции (фиг. 1). Метеорная станция должна находиться вдали от источников сильного света, лучше всего за городом. В пределах и вблизи больших городов метеоры наблюдать нельзя.

Организуются основной пункт и один или два корреспондирующих пункта на расстоянии 20—25 *км* друг от друга. Базисы и координаты пунктов измеряются с большой точностью

(до 0,01 *км*). На основном пункте, где имеется электропитание, устанавливается павильон с фотографическим патрулем, имеющим обтюратор. Вторая установка выносится на корреспондирующий пункт.



Фиг. 1. Примерный вид метеорной станции

1 — рамка; *2* — бинокуляр; *3* — антенна радиоприемника; *4* — павильон с патрулем; *5* — топчаны для наблюдателей телеметеоров; *6* — место секретаря

На основном пункте устанавливается рамка для счета метеоров, под ней размещаются топчаны, маты, спальные мешки для наблюдателей. На наблюдательной площадке размещаются штативы с инструментами и топчаны для наблюдателей телеметеоров. Тут же устанавливается бинокуляр для наблюдений дрейфа следов, которым должен иметь возможность воспользоваться наблюдатель немедленно после пролета яркого метеора. На наблюдательном пункте надо иметь радиоприемник для проверки часов по радиосигналам. Вблизи наблюдательной площадки должно быть теплое помещение, где наблюдатели отдыхают после работы, а в зимнее время обогреваются. Постройка и обслуживание подобной станции по силам только большой группе астрономов-любителей; конечно, на первых порах можно ограничиться частью оборудования, чтобы впоследствии его пополнять [2].

4. Периоды наблюдений метеоров тесно связаны с фазами Луны. Практически метеоры можно наблюдать в течение 15—20 безлунных ночей в месяц. Некоторые наблюдения, например нанесение на карту, возможны и при Луне. Летом в северных широтах метеоры плохо видны из-за белых ночей, поэтому, чем южнее расположена станция, тем лучше, так как светлое небо резко снижает число замеченных метеоров.

Выбор периода наблюдений зависит от задач наблюдений. Изучение метеорной активности проводят круглый год, так как наиболее интересными являются ее годичные вариации. Радианты определяются в период действия данного потока.

Начинать наблюдения следует с интенсивных, хорошо изученных потоков: Персеид, Геминид и др., а затем переходить к непрерывным наблюдениям и наблюдениям неисследованных потоков.

Время суток, в которое наблюдаются метеоры, также имеет большое значение. Для однородности наблюдательного материала надо стараться выдерживать постоянное время, например с 22 до 2 час. Тогда получатся сравнимые результаты для всего периода. Значительный интерес представляет изучение суточной вариации численности и направлений, поэтому наблюдения по возможности производят до и после местной полуночи. Иногда время наблюдений диктуется определенным положением радианта или апекса.

5. Важнейший элемент любых астрономических наблюдений — четкая запись результатов. Различные наблюдения требуют разных форм записи (см. ниже), но есть общие нормы, применимые ко всяким метеорным наблюдениям.

Во время наблюдений запись ведется простым карандашом, так как чернила и химический карандаш от сырости расплываются. На всякий случай при себе надо иметь несколько карандашей. На следующее же утро рабочие записи переписываются чернилами в журнал или на чистые бланки. При этом надо делать записи достаточно ясно, чтобы их без труда мог понять другой наблюдатель, не знакомый с данными наблюдениями.

Освещение должно быть проведено с таким расчетом, чтобы оно не ослепляло глаза при работе. Во всех возможных случаях наблюдателю надо избегать освещения совсем.

При наблюдениях метеоров перед записью результатов наблюдений всегда сначала указывают следующие общие данные:

а) дата (год, месяц, число), учитывая, что ночные наблюдения охватывают обычно конец одних и начало других суток;

б) поправка и ход часов; время (мировое, московское и т. п.);

в) место наблюдений, название географического пункта;

г) фамилии и инициалы наблюдателей (разборчиво);

д) какие наблюдения проводятся;

г) характеристика применяемых инструментов (поле зрения, увеличение и т. д.).

После того как эти сведения указаны, можно переходить к записи результатов наблюдений.

6. Полная обработка наблюдений требует, как правило, серьезного знания математики, физики, астрономии. Кроме того, многие виды обработки требуют применения измерительных приборов, счетных машин, атласов и справочников, которые имеются только на астрономических обсерваториях. Поэтому не всегда любитель может провести обработку полностью.

Однако наблюдатель, хотя бы в общих чертах, должен представлять себе ход обработки и те результаты, которые могут быть получены. Это гарантирует от грубых просчетов и упущений в наблюдениях. В обязанность наблюдателя входит также предварительная обработка и систематизация собранного материала. Если любитель не может самостоятельно провести полную обработку, то ему надо обратиться за консультацией к специалистам по метеорной астрономии или послать свои наблюдения на обсерватории, занимающиеся метеорами.

В нашей стране исследования метеоров координирует Комиссия по кометам и метеорам Астросовета АН СССР (Москва, Д-56, Б. Грузинская ул., 10). Среди астрономов-любителей работу организует Астрономическая секция ВАГО и Метеорный отдел Московского отделения ВАГО (Москва, К-9, п/я 1268). В Крыму расположена любительская Метеорная станция ВАГО (Симферополь, ул. Гоголя, 26, Крымская станция юных техников).

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИЖЕНИИ И СВЕЧЕНИИ МЕТЕОРОВ

Метеорные тела движутся в атмосфере практически прямолинейно, искривление траектории даже для продолжительных и ярких болидов невелико. Скорость метеора (как вектор) определяется величиной и направлением. Вследствие сопротивления воздуха скорость метеора v постоянно уменьшается; отрицательное ускорение j называется торможением. Оно велико в конце пути метеора, а у границы атмосферы v асимптотически стремится к постоянной доатмосферной скорости v_∞.

Направление скорости метеора в метеорной астрономии принято определять радиантом R; это направление, обратное вектору скорости, или точка пересечения обратного продолжения траектории метеора с небесной сферой. Радиант можно определить, наблюдая один метеор из двух пунктов, что делается при базисных наблюдениях, либо наблюдая из одного пункта несколько параллельно движущихся метеоров, что бывает при наблюдениях метеорного потока. В дальнейшем мы рассмотрим определение радианта для обоих случаев.

Из наблюдений получают горизонтальные (a_R, z_R) или экваториальные (α_R, δ_R) координаты видимого радианта. На положение видимого радианта оказывает влияние движение наблюдателя вследствие вращения Земли, в результате которого видимый радиант оказывается смещенным к точке востока на угол

$$\theta^\circ = \frac{26^\circ.62}{v_\infty} \cos\varphi \sin \widehat{RE}, \qquad (1)$$

где v_∞ дано в *км/сек*, φ — широта места наблюдения, R и E — точки востока и исправленного радианта. Это смещение называется суточной аберрацией. Притяжение Земли также возмущает движение метеорного тела. В непосредственной близости от Земли метеорное тело описывает вокруг ее центра гиперболу и увеличивает скорость. Неискаженная притяжением скорость встречи метеорного тела с Землей называется геоцентрической скоростью v_g. Геоцентрическая скорость связана с доатмосферной скоростью следующей формулой:

$$v_\infty^2 - v_g^2 = (11{,}10\ \text{км/сек})^2. \qquad (2)$$

Из (2), между прочим, следует, что метеоры не могут иметь скорость v_∞ меньше 11,1 *км/сек*.

Вследствие движения по гиперболе наблюдаемое зенитное расстояние z_R всегда меньше, чем неискаженное влиянием Земли. Разница Δz называется зенитным притяжением. Для ее определения служит формула Скиапарелли

$$\lg \frac{\Delta z}{2} = \frac{v_\infty - v_g}{v_\infty + v_g} \lg \frac{z}{2}. \qquad (3)$$

Видимый радиант, исправленный за суточную аберрацию и зенитное притяжение, называется исправленным радиантом (геоцентрическим). Он определяет направление геоцентрической скорости.

Скорость движения метеорного тела относительно Солнца, т. е. гелиоцентрическая скорость v_h, представляет собою векторную сумму орбитальной скорости Земли v_l и геоцентрической скорости метеора:

$$\vec{v}_h = \vec{v}_l + \vec{v}_g.$$

Скорость Земли в любой точке орбиты равна $v_l = 29{,}80\ \frac{1}{r}$ *км/сек*, где r — радиус-вектор Земли (в астрономических единицах). Точка A, куда направлена скорость Земли, называется апексом. Эта точка находится на эклиптике (широта ее равна 0°), а долгота приблизительно на 90° отличается от долготы Солнца в данный момент.

Угол между направлениями на апекс и радиант называется элонгацией геоцентрического радианта от апекса E_g. Тогда величина гелиоцентрической скорости легко находится из треугольника, образованного v_l, v_g и v_h:

$$v_h^2 = v_l^2 + v_g^2 - 2 v_l v_g \cos E_g. \qquad (4)$$

В соответствующих руководствах [3, 4] даются удобные формулы и хорошо разработанные вычислительные схемы для определения апекса, гелиоцентрического радианта R_h, для нахождения элонгации гелиоцентрического радианта от апекса E_h, а также для введения поправок в координаты радианта за зенитное притяжение и суточную аберрацию. Ради краткости изложения мы их не приводим. При $E_h < 90°$ метеор встречный или догоняемый, если $E_h > 90°$, то метеор догоняющий.

Положение метеорного тела в момент его встречи с Землей известно по положению Земли, а скорость определяется величиной и направлением гелиоцентрической скорости. В таком случае по законам небесной механики можно вычислить его орбиту вокруг Солнца. Вид ее зависит от величины v_h. Если v_h больше некоторого предела, называемого параболической скоростью, то тело движется вокруг Солнца по разомкнутой гиперболической орбите, если же $v_h < v_{пар}$, то орбита метеорного тела замкнутая, эллиптическая. Величина параболической скорости определяется формулой

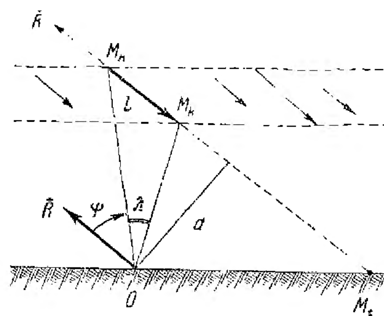
$$v_{пар} = \frac{42{,}14}{\sqrt{r}} \, км/сек, \tag{5}$$

где r — расстояние от Солнца в астрономических единицах. В настоящее время установлено, что подавляющее число метеорных тел имеет эллиптические орбиты. Очевидно, что метеорное тело сталкивается с Землей либо в восходящем, либо в нисходящем узле орбиты.

Рой метеорных тел, двигающихся вокруг Солнца по примерно одинаковым орбитам, образует метеорный поток. Метеоры потока встречаются с Землей, имея одинаковую скорость и двигаясь приблизительно по параллельным путям. Метеорных потоков известно множество. Ежегодно в определенные моменты Земля пересекает эти потоки. Известно около десятка крупных, богатых частицами потоков: Персеиды, Лириды, Квадрантиды, Ориониды, Геминиды, Урсиды и т. д.

Наблюдая метеоры, движущиеся параллельно, наблюдатель, по законам перспективы видит их как бы исходящими из одной точки — радианта потока. Так как траектории метеоров только приблизительно параллельны и нанесение их на карту производится с известной ошибкой, то фактически наблюдается некоторая площадь радиации. Для длительно действующих (несколько суток) метеорных потоков замечается перемещение видимого радианта по небесной сфере. Это явление связано с изменением положения апекса. Для крупных потоков приводятся эфемериды радианта на каждые сутки [5].

Рассмотрим некоторые параметры траектории метеора в атмосфере (фиг. 2). Пусть $M_н M_к$ — путь метеора, R — направление на радиант, O — наблюдатель. Точку $M_н$ — назовем точкой появления, а $M_к$ — точкой исчезновения; пересечение траектории с плоскостью горизонта наблюдателя M_t называется земной точкой. Как видно из фиг. 2, угловая длина метеора λ зависит (при прочих равных условиях) от элонгации метеора от радианта. Элонгация любой точки обозначается буквой ψ. Из фиг. 2 следует, что длина пути метеора



Фиг. 2. Элементы траектории метеорного тела в атмосфере

$$L = d\,(\mathrm{ctg}\,\psi_н - \mathrm{ctg}\,\psi_к), \tag{6}$$

где d — кратчайшее расстояние до линии $M_н M_t$. Метеоры с большой элонгацией — более длинные, а с меньшей — более короткие.

Угловая скорость метеора ω, измеряемая в градусах в секунду, связана с элонгацией и скоростью v следующей формулой:

$$\omega = 57{,}3 \frac{v}{d} \sin^2 \psi \tag{7}$$

При малом ψ угловая скорость невелика, и наоборот, — более далекие от радианта метеоры имеют бо́льшую угловую скорость.

Наиболее распространенным видом фотометрии метеоров является глазомерная оценка звездных величин метеоров по сравнению с блеском известных звезд. Опытные наблюдатели при хорошем знании звезд определяют блеск метеора с точностью до 0,25 звездной величины. Блеск звезды и метеора — неравноценные факторы, так как метеор представляет собой движущийся объект переменного блеска. Более надежны фотографические и фотоэлектрические определения, но они не применимы к массовым наблюдениям. Наблюдаемые звездные величины метеоров искажены двумя главными ошибками.

Во-первых, разные метеоры наблюдаются на различных расстояниях от наблюдателя. Чтобы сравнивать по блеску раз-

ноудаленные метеоры, вводится **абсолютная** звездная величина метеора. Это такая величина, какую имел бы он на расстоянии 100 *км*. Абсолютная величина вычисляется по формуле

$$m = m' - 5 \lg r + 10, \quad (8)$$

где m — абсолютная звездная величина, m' — видимая звездная величина, r — расстояние от наблюдателя до метеора в километрах.

Вторым фактором, влияющим на видимую звездную величину, является атмосферное поглощение, которое зависит от прозрачности и зенитного расстояния метеора. Для получения так называемой **заатмосферной** величины метеора надо наблюдаемой величине придать поправку

$$\Delta m = + \mu \sec z. \quad (9)$$

Коэффициент μ зависит от коэффициента прозрачности атмосферы в данную ночь. В среднем $\mu = 0^m,2$. Если блеск метеора определен сравнением с близлежащими звездами, то поправку вводить не надо, так как блеск звезд в той же мере ослаблен влиянием атмосферы.

Важнейшей характеристикой метеорного потока является распределение метеоров по блеску. Выражение, показывающее количество метеоров данной звездной величины, приходящееся на единицу площади за единицу времени, называется **функцией светимости** $f(m)$. Наблюдения показывают, что функция светимости имеет приблизительно показательный характер

$$f(m) = c\varkappa^m, \quad (10)$$

где c и $\varkappa$ — постоянные. Коэффициент $\varkappa$ является фундаментальной величиной, характеризующей крутизну функции светимости. В среднем $\varkappa = 2{,}5$, однако он сильно меняется для различных потоков: для Орионид $\varkappa = 4{,}0$, для Персеид $\varkappa = 2{,}5$ и т. д. Определение величины $\varkappa$ — одна из важных задач наблюдений метеоров. Обозначим через $N(m)$ количество метеоров от $m - \frac{1}{2}$ до $m + \frac{1}{2}$ звездной величины. Можно показать, что

$$\frac{N(m+1)}{N(m)} = \varkappa. \quad (11)$$

Иными словами, количество метеоров, заключенных в интервале одной звездной величины, возрастает с увеличением m

в геометрической прогрессии. Формулой (11) пользуются для определения $\varkappa$.

Из определения шкалы звездных величин следует, что абсолютная звездная величина связана с силой света метеора I формулой

$$m = -2{,}5 \lg I.$$

В этой формуле I выражено в некоторых условных единицах (1 ед. $\simeq$ 20 900 международных свечей, но в астрономии абсолютные единицы применяются редко).

Сила света метеора зависит от скорости и массы метеорного тела. Теория свечения метеоров дает следующую приближенную зависимость, которая служит для оценок массы метеорного тела:

$$I \approx CMv^3 \cos z_{K_0} \quad (12)$$

где M и v — начальные масса и скорость метеорного тела, z_K — зенитное расстояние радианта, а $C \approx 1$ *св* $\cdot$ *г*$^{-1}$ $\cdot$ *км*$^{-3}$ *сек*^{3}.

Фотометрирование фотоснимков метеора дает более подробные данные об изменении массы метеорного тела, плотности атмосферы и других геофизических факторах. Измерение негативов требует сложной аппаратуры, однако получить снимок, пригодный для фотометрии, в любительских условиях можно.

Звездная величина метеора находится сравнением на негативе почернений, вызванных изображениями звезд и метеора. Но непосредственно приравнивать эти почернения нельзя, так как звезды и метеор движутся в поле изображения с различными угловыми скоростями. Считается, что ослабление изображения движущегося объекта (выраженное в звездных величинах) пропорционально логарифму отношения угловых скоростей звезды ω^* и метеора ω, т. е.

$$m - m^* = -k \lg \frac{\omega}{\omega^*}, \quad (13)$$

где m^* и m — величины звезды и метеора, а k = const. Чтобы установить величину k, при помощи какого-либо приспособления на пленку, где снят метеор, впечатывают искусственную звезду, движущуюся с известной и переменной угловой скоростью. Конструкции подобного рода калибровочных установок многочисленны и разнообразны [3].

Чтобы сравнить фотографические и визуальные звездные величины метеоров, надо еще учесть **показатель цвета** метеора, который в среднем равен $1^m{,}8$.

НАНЕСЕНИЕ МЕТЕОРОВ НА КАРТУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАНТОВ

Можно указать две основные задачи, ради которых следует производить нанесение метеоров на карту: 1) подтверждение теоретических кометных радиантов, 2) определение положения, смещения и относительной активности слабых малоизученных радиантов. Определять визуально положение и площади радиантов больших, хорошо изученных потоков сейчас имеет смысл в основном в учебных целях для тренировки наблюдателей, так как для них применимы более точные радиолокационный и фотографический методы. Слабые же по активности радианты, к тому же образованные неяркими метеорами, пока еще не поддаются изучению указанными выше методами, и здесь роль визуальных наблюдений велика. Мы не рассматриваем также и корреспондирующую визуальную регистрацию положения метеоров с целью определения их высот, так как необходимую точность визуальные наблюдения обеспечить не могут и эту задачу лучше решать фотографическим путем.

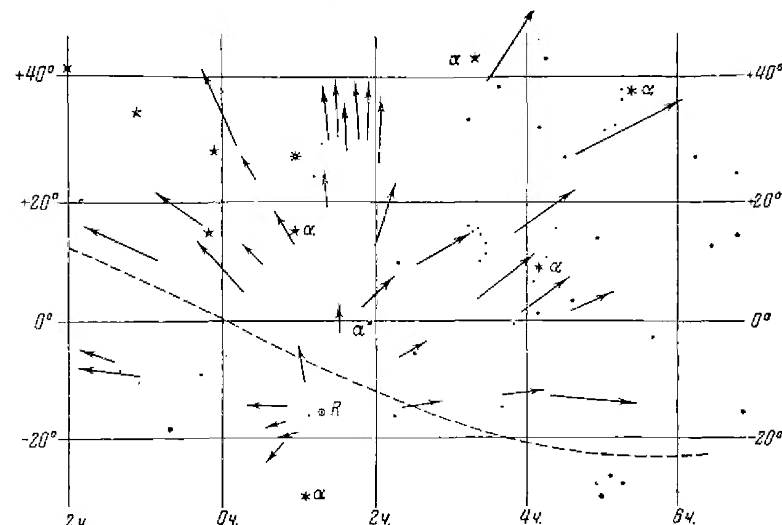
Наблюдения кометных радиантов надо производить в эпоху их действия, которая приводится в соответствующих каталогах [6—8]. Наблюдения слабых радиантов можно производить практически в любой безлунный период, так как радиантов известно очень много. При этом не следует упускать возможности обнаружения нового, не занесенного в каталоги радианта. Через год можно повторить попытку вновь обнаружить наблюдавшийся радиант, что для слабых радиантов, дающих один или менее метеоров в час, представляет, вообще говоря, нелегкую задачу.

Метеоры летят в атмосфере практически по прямым линиям, поэтому их пути на небесную сферу проектируются в виде дуг больших кругов. На звездной карте (в зависимости от картографической проекции) большие круги могут изображаться различными линиями. Только на гномонической (центральной) проекции любой большой круг изображается прямой линией. Существуют звездные карты, вычерченные в этой проекции, но пользоваться ими при наблюдениях неудобно, так как на краях карты получаются сильные искажения, и поэтому при наблюдениях пользуются любой удобной для данной области неба картой (с масштабом не менее 2—4 *мм/град*), а последующую обработку уже производят на гномонической карте. Только очень опытные наблюдатели могут пользоваться сразу гномонической сеткой.

Для наблюдений можно использовать «Звездный атлас» (малый) А. А. Михайлова, «Звездный атлас» А. Бечваржа,

звездные карты в приложениях к «Справочнику астронома-любителя» П. Г. Куликовского и т. п.

Чтобы не портить карты атласа, следует скопировать интересующую наблюдателя область неба на чистый лист бумаги и хорошо изучить расположение и блеск звезд. Обычно достаточно иметь область поперечником 80—100°, так как внешние части большей области будут наблюдаться уже боковым зрением.



Фиг. 3. Нанесение метеоров на карту. δ-Аквариды, 1959 г.

При нанесении метеоров на карту должны выполняться все общие правила визуальных наблюдений (см. стр. 7). Карту надо наколоть на лист фанеры. Наблюдатель располагается в удобной позе, в зависимости от положения области наблюдений. Цель наблюдений заключается в возможно более точном нанесении метеора на карту, поэтому не нужно стараться нанести непременно все наблюдавшиеся метеоры (при данном виде наблюдений это все равно невозможно). При пролете метеора надо, некоторое время не сводя глаз с неба, запомнить: около каких звезд метеор начался и окончился, вдоль какой линии он летел. При этом можно пользоваться линейкой, которую наблюдатель держит в вытянутой руке параллельно метеору. После того как наблюдатель запомнил положение, он наносит метеор на карту (фиг. 3), ставит рядом с ним номер и производит следующие записи в журнале:

1) номер метеора, который ставится также у нанесенного на карту метеора;
2) момент с точностью до минуты;
3) звездная величина метеора m;
4) угловая длина метеора в градусах λ;
5) угловая скорость ω в условных обозначениях: 6 — быстрый, 4 — медленный, 2 — средний; 0 — неподвижный («стационарный»);
6) цвет: *к* — красный, *о* — оранжевый, *ж* — желтый, *з* — зеленый, *г* — голубой, *с* — синий, *б* — белый, *ф* — фиолетовый;
7) примечания о наличии следов, вспышек и т. д.

Запись в журнале может делать секретарь под диктовку наблюдателя. Бланк для записи может иметь следующий вид.

Журнал для нанесения метеоров на карту

Общие данные о наблюдениях (см. стр. 7)

№	Момент	m	λ	ω	Цвет	Примечания
18	2 ч. 31 м.	3,5	12°	6	*ж*	след 2 сек.

Физические данные: m, λ, ω, цвет не имеют прямого отношения к определению радиантов, но они помогают определить принадлежность метеора к данному радианту. Если наблюдатель не сочтет это обременительным, то количество регистрируемых физических характеристик (см. ниже) можно увеличить. Продолжительность чистого времени наблюдений в каждую ночь должна быть не менее 2 час., так как при меньшем интервале слабые радианты могут себя не проявить. Особую ценность имеют наблюдения в течение нескольких ночей непрерывно. За это время можно проследить время существования, смещение и изменение активности радианта.

Обработка наблюдаемого материала начинается с перенесения зарисованных метеоров на карту с гномонической сеткой. Обычно при метеорных работах используют карту в гномонической проекции с касанием проективной плоскости к небесной сфере на склонении $\delta = 45°$ (сетка Лоренцони). На ней имеется и полюс и экватор (фиг. 4). Точки пересечения линий продолжения метеоров назад могут, вообще говоря, быть радиантами. Однако всегда наблюдается значительный процент (более 50%) так называемых спорадических метеоров, не принадлежащих потокам. Образованные ими пересечения являются фиктивными радиантами [9].

В. В. Федынский и В. А. Мальцев предложили оправдывающийся на практике критерий, согласно которому радиант считается реальным, если выполняется одно из следующих условий:

1) пересекаются пути не менее трех метеоров, наблюдавшихся в одну ночь или пяти метеоров в две смежные ночи, и отношение угловой длины λ к элонгации ψ для всех метеоров приблизительно постоянно и меньше единицы, а физические свойства метеоров близки между собой;

2) из всех наблюденных в одну ночь метеоров в радианте пересекается следующее число продолженных путей метеоров: 4 из 10; 6 из 40; 7 из 60; 8 из 80 и 10 из 100;

3) убедительным доказательством существования радианта является с т а ц и о н а р н ы й м е т е о р (летящий прямо на наблюдателя);

4) иногда радиант выявляется в процессе наблюдений, когда несколько метеоров в течение короткого времени (1—2 мин.) вылетают из одной точки (полет «пачками»).

При нанесении метеоров на карту наблюдатель допускает несколько видов ошибок: удлинение или укорочение, перемещение вперед или назад, перемещение в сторону, поворот траектории. Первые две ошибки на положении радианта не сказываются, а остальные приводят к тому, что площадь радианта преувеличивается. Нормальным считается, если пути метеоров пересекаются в кружке с радиусом 1,5—2°, а за радиант принимается ц е н т р т я ж е с т и п л о щ а д и п е р е с е ч е н и я.

Площадь пересечения находится на гномонической сетке обычно графически, но когда метеоров много, есть возможность определить радиант более точно — аналитически. Опуская промежуточные выкладки, укажем последовательность вычислений. На сетке Лоренцони строим прямоугольную систему координат с центром в точке касания плоскости сетки к небесной сфере, т. е. при $\delta = 45°$, и составляем для каждой линии метеора ее уравнение:

$$x \cos\theta + y \sin\theta = s, \tag{14}$$

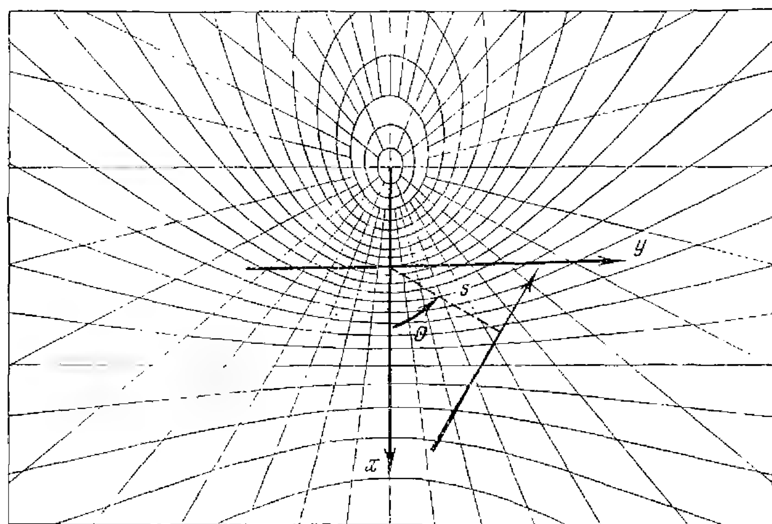
где значения θ и s показаны на чертеже (фиг. 4) Умножим каждое уравнение на некоторую величину (вес):

$$p = \sin\lambda \cos s,$$

где λ — угловая длина метеора, а угловая величина s снимается с сетки Лоренцони (от 0 надо отложить вдоль оси x линейную величину s и узнать, скольким градусам она

2150

соответствует). После этого система уравнений всех метеорных путей с двумя неизвестными решается методом наименьших квадратов. Найденные значения x и y соответствуют радианту $R(x_R, y_R)$. Эта точка строится на сетке, с которой снимаются сферические координаты радианта $R(\alpha_R, \delta_R)$.



Фиг. 4. Сетка Лоренцони. Параллели нанесены через 5°, меридианы через 10°

Эта точка — наилучшая с точки зрения теории вероятностей, т. е. сумма квадратов угловых расстояний от нее до всех метеорных кругов минимальна.

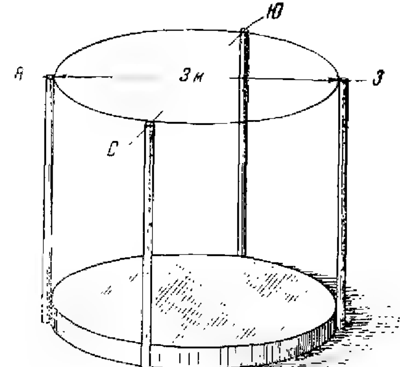
Полученные из наблюдений радианты следует занести в каталог, причем надо указать количество метеоров, эпоху и продолжительность действия. Если радиант существовал долго, можно по наблюдениям в разные ночи установить его смещение.

Через год в ту же самую эпоху (т. е. когда Солнце будет иметь ту же самую долготу) имеет смысл еще раз проверить радиант.

МНОГОКРАТНЫЙ СЧЕТ МЕТЕОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

Счет (т. е. регистрация численности метеоров) при правильной организации наблюдений приносит гораздо бóльшую научную пользу, чем визуальные определения физических характеристик метеоров.

Счет метеоров служит для определения важнейших характеристик метеорных потоков: 1) плотности метеорных потоков и 2) функции светимости, т. е. распределения метеоров по блеску. При систематических наблюдениях можно также изучить структуру потока, т. е. распределение метеорных тел различной массы в потоке и вообще в межпланетном пространстве. Счет метеоров должен вестись на строго ограниченной площади неба и в течение вполне определенного интервала времени. Считать метеоры «вообще» — совершенно бессмысленно. Наблюденная численность метеоров, вообще говоря, не соответствует плотности метеорных тел в потоке. Чтобы из наблюдений получить истинную плотность, надо учесть ряд факторов и физического и геометрического характера.

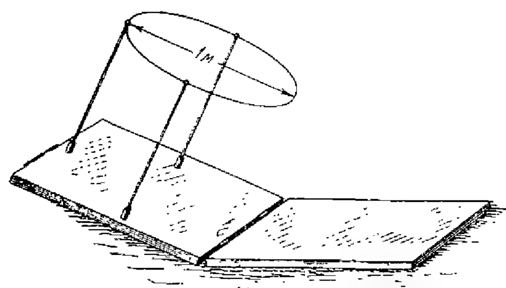


Фиг. 5. Рамка для счета метеоров для нескольких наблюдателей

Чтобы ограничить наблюдаемую область неба, счет метеоров ведется через рамки (фиг. 5, 6). Мы рекомендуем делать рамку круглой, так как применение прямоугольных и квадратных рамок вносит дополнительные трудности в обработку. Рамка должна быть такого размера, чтобы вырезать на небесной сфере область поперечником 50—60°; за большей областью трудно следить, в меньшую попадает слишком мало метеоров. Под одной рамкой может разместиться несколько наблюдателей (лежа, головой к центру), поэтому она должна быть достаточно большой во избежание сильного параллакса. Лучше всего сделать рамку диаметром 3—4 *м* и расположить ее на высоте 3—4 *м* от наблюдателей, тогда угловой диаметр области наблюдений будет примерно равен 53°. Круг укрепляется на четырех столбах, расположенных на юге, севере, западе и востоке. Это облегчает определение направления метеора. Под рамкой устраивается дощатый настил, на который кладутся маты. Такое оборудование позволяет вести наблюдения и в холодную погоду.

Вместо одной большой рамки можно соорудить несколько маленьких, например диаметром 1 *м*, для каждого наблюдателя в отдельности. Область неба должна быть у всех наблюдателей одна. На фиг. 5 изображена рамка с центром в зените. При некоторых наблюдениях (например, параллельно с радиолока-

тором) приходится брать центр области не в зените, но обработка наблюдений во внезенитной области сильно усложняется (фиг. 6).



Фиг. 6. Рамка для счета метеоров (индивидуальная)

Один наблюдатель даже в небольшой области не может заметить все метеоры, так как внимание его не может быть непрерывным. Чтобы характеризовать внимательность наблюдателя, вводится величина p, называемая к о э ф ф и ц и е н т о м з а м е ч а е м о с т и данного наблюдателя. Коэффициент замечаемости различен для метеоров различных звездных величин. Значения этого коэффициента (приближенно) следующие:

Блеск метеора	0^m	1^m	2^m	3^m	4^m	5^m	6^m
Коэффициент замечаемости	1,00	0,95	0,78	0,54	0,25	0,05	0,004

Это — средние величины; у разных наблюдателей они сильно различаются и несколько меняются со временем. Таким образом, даже опытный наблюдатель при наилучших атмосферных условиях регистрирует не все метеоры, а только некоторую их часть. Чтобы учесть все метеоры, необходимо вести м н о г о к р а т н ы й с ч е т. Многократный счет заключается в том, что несколько наблюдателей одновременно считают метеоры в одной и той же области и при этом регистрируют о б щ и е и н е о б щ и е между наблюдателями метеоры. Из таких наблюдений, пользуясь законами математической статистики, можно найти коэффициент замечаемости каждого наблюдателя и определить истинное число пролетевших в наблюдаемой области метеоров, в том числе и тех, которых не видел ни один из наблюдателей.

Счет метеоров разных звездных величин усложняется и тем, что слабые метеоры глаз видит только в центре поля зрения.

Радиус з о н ы в и д и м о с т и метеоров 6^m равен 8°, 5^m — 20°, 4^m — 30° и т. д. Наблюдатель никогда не фиксирует глаз в одну точку, а обводит взором некоторую область, а длительность метеора не равна нулю. Поэтому зоны видимости несколько расширяются. При хорошем небе они в среднем таковы:

Звездная величина	0^m	1^m	2^m	3^m	4^m	5^m	6^m
Радиус зоны видимости . .	65°	60°	50°	40°	25°	15°	10°

Зоны видимости резко меняются в зависимости от состояния неба и наблюдателя. Влияние зон на численность метеоров до некоторой степени учитывается коэффициентами замечаемости, но при постановке тщательных наблюдений надо пользоваться двумя рамками: меньшей (15°) — для слабых, и большей (60°) — для ярких метеоров.

Техника многократного счета может быть различной: 1) все наблюдатели лежат под одной большой рамкой; 2) наблюдатели располагаются под индивидуальными, но находящимися рядом рамками; 3) в целях полной независимости наблюдатели размещаются на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга. В первых двух случаях между наблюдателями и секретарем (который сам не наблюдает) существует связь голосом, в третьем случае от каждого наблюдателя к секретарю для фиксирования момента пролета проводится электрическая сигнализация.

В первых двух случаях общность метеора устанавливается непосредственно во время наблюдений. Секретарь при этом сообщает о б щ и й д л я в с е х н а б л ю д а т е л е й н о м е р м е т е о р а и записывает момент пролета. Характеристики метеора записываются под этим номером каждым наблюдателем самостоятельно в с л е п у ю (не отрывая глаз от неба) на полоске бумаги, свернутой гармошкой. Характеристики могут также записываться секретарем п о д д и к т о в к у одного из заметивших метеор наблюдателей. Другие наблюдатели, заметившие этот же метеор, сообщают об этом секретарю и говорят свою оценку звездной величины. Диктовку стоит применять на тренировках, а затем переходить к записи вслепую, так как это создает меньше шума.

При работе с электрической сигнализацией записи ведутся вслепую. Наблюдатели не знают, кто из них заметил метеор. О б щ н о с т ь и м о м е н т ы устанавливаются уже при сравнении и переписке записей наблюдателей и секретаря. Отождествление метеоров — очень ответственная и трудоемкая работа. Для ее облегчения в этом случае наблюдатели записывают также п о л о ж е н и е м е т е о р а с р е д и

звезд, хотя это не имеет прямого отношения к счету метеоров. Во время наблюдений следует соблюдать строгую тишину; сообщения секретарю и наблюдателям должны быть негромкими и лаконичными.

При счете метеоров регистрируются следующие данные (помимо общих сведений):

1) общий для всей группы наблюдателей номер метеора за данную ночь (сообщается секретарем);

2) момент пролета метеора с точностью до минуты (устанавливается секретарем);

3) звездная величина метеора (максимум яркости);

4) угловая скорость;

5) направление метеора, которое измеряется в часах циферблата, причем за 12 час. считается точка севера (фиг. 7);

6) принадлежит ли метеор к потоку или он спорадический;

7) положение метеора относительно рамки: если начало и конец метеора лежат внутри рамки, то ставится знак (++), если начало вне, а конец внутри рамки, то (−+), если начало внутри, а конец вне рамки, то (+−); реже будут встречаться метеоры, и начало и конец которых лежат вне рамки (−−);

Фиг. 7. Определение положения (−−) и направления метеоров по «правилу циферблата»

8) общность метеора между наблюдателями (устанавливается путем введения общего номера);

9) зенитное расстояние середины метеора (только в том случае, если наблюдается не околозенитная область);

10) в примечаниях отмечается наличие следа, вспышек и т. д.

Момент пролета метеора при счете не играет существенной роли, и при обильных потоках его можно не записывать. При счете важен *интервал чистого времени* наблюдений, поэтому надо тщательно регистрировать момент начала и конца наблюдений и время перерывов для отдыха. Общее чистое время за ночь должно быть не менее 2—3 час., иначе метеоров будет мало и статистические формулы станут неприменимы.

Во время одной ночи наблюдений изменения в составе группы недопустимы. Нежелательны они и вообще за период наблюдений.

Звездная величина метеора определяется по находящимся в наблюдаемой области звездам, блеск которых надо знать [5]. Угловая скорость отмечается в условной шкале (см. предыдущий раздел). Знать ее необходимо для учета ее влияния на восприятие блеска. Зенитное расстояние середины метеора определяется для учета атмосферного поглощения. Оцифровку циферблата направлений следует подробно описать, т. е. указать, каким часам соответствуют точки С, Ю, З, В.

Принадлежность метеора к потоку является важной, но в то же время трудной для определения характеристикой метеора. Принадлежность определяется по направлению полета, соотношению угловой длины и элонгации от радианта и комплексу физических свойств: цвета, очерченности, скорости и т. д. При известном навыке наблюдатель сразу определяет принадлежность метеора к потоку по этим признакам. Наблюдателю надо знать, какие потоки действуют в данную ночь и расположение их радиантов. Обычно стараются установить принадлежность к одному из следующих богатых ежегодных потоков: Квадрантиды, Лириды, η-Аквариды, δ-Аквариды, Персеиды, Ориониды, Тауриды, Леониды, Геминиды, Урсиды. Остальные метеоры рассматриваются как внепоточные, т. е. спорадические.

При счете метеоров самое главное — факт пролета метеора, его принадлежность к потоку и общность у разных наблюдателей. Даже блеск метеора стоит уже на втором плане и не страшно, если кто-либо из наблюдателей его не отметит, но хотя бы один должен отметить обязательно.

Положение метеора относительно рамки необходимо регистрировать для того, чтобы определить среднее *отношение высот появления и исчезновения метеоров*. Данные п. п. 2, 10, 7, 5, 9, 4 не являются основными при многократном счете и в случае обильных дождей, когда времени мало, можно их в крайнем случае отбрасывать в указанном порядке.

Очевидно, что видимость метеоров, особенно слабых, сильно зависит от состояния неба: освещенности, прозрачности. При наблюдениях метеоров состояние неба характеризуют *предельной величиной звезд* m_{lim}, которые видны в наблюдаемой области. Обычно это бывает 4,5—5,5 звездная величина. При сильной освещенности неба вблизи больших городов, в полнолуние и близкие к нему дни счет вести нельзя.

Иногда приходится проводить счет метеоров при легких проходящих облаках. При этом степень закрытия области облаками определяют *в процентах*. Подобные наблюдения имеют небольшую ценность.

Ниже приводится примерная форма записи при счете метеоров, которая получится при ведении «слепых» записей или записи под диктовку секретарем.

Журнал многократного счета метеоров

1. Место наблюдения: г. Симферополь.
2. Дата: 12/13 декабря 1959 г. (московского времени).
3. Время наблюдений: начало 0 ч. 31 м., конец 3 ч. 05 м.
4. Перерывы в наблюдениях: 1 ч. 20 м. — 1 ч. 30 м., 2 ч. 30 м. — 2 ч. 35 м.
5. Предельная звездная величина звезд: 5,4.
6. Наблюдатели: В. Мартыненко (ВМ), А. Клюкина (АК), И. Зоткин (ИЗ), Р. Михайлов (РМ), С. Макарова (СМ), Б. Гольдберг (БГ), Г. Пушной — секретарь.
7. Диаметр области 57°, центр в зените.

№	Момент	Направление	+−	ω	z	Поток	Наблюдатели						Примечания
							ВМ	АК	ИЗ	РМ	СМ	БГ	
1	0 ч. 33 м.	11	++	2	0°	Гем.	3	2,5	?		3,5		
2	35	3	−+	4	20	Спор.			4		5	?	Вспышка
3	36	10	+−	2	35	Гем.	−1	1,5	−1	−1,5	−1	−1	

Если наблюдатель видел метеор, но не определил его блеск, он обязательно должен сказать об этом секретарю. Такой метеор отмечается знаком «?» и входит в счет. В журнале время от времени записывается состояние наблюдателей, так как холод, утомление и т. п. факторы оказывают влияние на наблюдения.

Обработка многократного счета может производиться различными методами с различных точек зрения [10, 11]. Мы укажем только на некоторые данные, которые можно получить.

Пусть счет метеоров ведут k наблюдателей (1, 2, 3,..., k) и за одно и то же время при равных условиях каждый заметил $n_1, n_2, \dots n_k$ метеоров. Очевидно, что для каждой пары наблюдателей i и j существует некоторое число общих метеоров n_{ij}. Число физически различных метеоров, замеченных всеми наблюдателями, обозначим n. Математическая статистика дает возможность определить коэффициент замечаемости p_i каждого наблюдателя:

$$p_i = \frac{\Sigma n_{ij}}{\Sigma n_j}, \; j \neq i. \qquad (15)$$

По этой формуле надо находить p_i отдельно для метеоров **каждой звездной величины**. Статистические законы применимы только к достаточно большему числу наблюдений, а n_i за одну ночь для данной звездной величины, к сожалению, невелико, поэтому иногда берут наблюдения за несколько ночей, что, вообще говоря, нежелательно.

После того как коэффициенты каждого наблюдателя p_i определены, можно найти «истинное» число метеоров N данной величины по следующей формуле Эпика:

$$N = \frac{n}{1-(1-p_1)(1-p_2)\dots(1-p_k)}, \qquad (16)$$

где n — число физически различных метеоров. При $k = 2$, т. е. при двух наблюдателях, формула (16) превращается в формулу двукратного счета метеоров:

$$N = \frac{n_1 n_2}{n_{12}}, \qquad (17)$$

где n_1 и n_2 — числа метеоров, замеченных первым и вторым наблюдателями, а n_{12} — количество общих метеоров. Если в формулу (16) подставить в качестве n количество метеоров, наблюденных за 1 час (n_h), то мы получим истинное **часовое число метеоров** N_h. Часовое число характеризует интенсивность падения метеоров. Можно рассмотреть отдельно часовое число спорадических метеоров и метеоров, принадлежащих к потоку, если он действовал во время наблюдений.

Количество метеоров данного потока, попадающих на наблюдаемую нами площадку неба в зените, зависит от высоты радианта над горизонтом, которая в течение ночи меняется:

$$N_{пот} = N_0 \cos z_R. \qquad (18)$$

Величина N_0 является характеристикой потока и связана с числом частиц в нем.

Спорадические метеоры, образующие **метеорный фон**, в течение года падают более или менее равномерно, к тому же они наблюдаются в тех же условиях, что и поточные, поэтому надежным индексом, определяющим интенсивность метеорного потока, является отношение наблюденного числа поточных метеоров $n_{пот}$ к числу всех метеоров, n:

$$i\,\% = \frac{n_{пот}}{n} 100\,\%. \qquad (19)$$

Эта величина называется **относительной активностью потока**. Она меняется, достигая максимума

в момент максимума потока, поэтому ее следует определять для каждой ночи или для каждого часа. Если наблюдений много, то можно подсчитать i для каждой звездной величины в отдельности.

Зная площадь наблюдаемой площадки S (*км*²), время t (*сек*), в течение которого замечено $N_{пот}$ метеоров, и скорость v_g (*км/сек*), с которой метеоры данного потока встречают Землю (геоцентрическую скорость), можно подсчитать п р о с т р а н с т в е н н у ю   п л о т н о с т ь   п о т о к а.

$$\rho = \frac{N_{пот}}{S v_g t \cos z_k}, \tag{20}$$

где ρ — количество частиц в единице объема (в 1 *км*³). Предполагая, что частицы распределены в потоке равномерно, находим среднее расстояние между ними:

$$r = \sqrt[3]{\frac{1}{\rho}}. \tag{21}$$

Для Персеид, например, $r = 10^3$ *км*. Таким образом, многократный счет позволяет найти фундаментальные характеристики потока.

Определение положения метеоров относительно рамки (|—) даст возможность определить отношение средних высот возгорания (начала) $H_н$ и погасания (конца) $H_к$ метеоров

$$\frac{H_н}{H_к} = \sqrt{\frac{N_н}{N_к}}, \tag{22}$$

где $N_н$ и $N_к$ — число метеоров, появившихся и исчезнувших внутри рамки, соответственно.

В подробных руководствах [9, 12] рассматривается вопрос об обработке наблюдений спорадических метеоров, получении распределения метеорных частиц по массам и т. д. на основе результатов счета метеоров.

ПРОГРАММА-МАКСИМУМ

И. С. Астаповичем была разработана подробная система регистрации физических, кинематических и геометрических характеристик метеора, получившая название «программы-максимум» [13]. Такие наблюдения служат для определения статистическим путем высот, скоростей, радиантов, масс и закономерностей движения и свечения метеорных тел.

Программа-максимум требует очень высокой квалификации наблюдателя. Только имея практический опыт наблюдения нескольких тысяч метеоров и исследовав многочисленные личные ошибки, наблюдатель может надеяться на получение надежных данных.

Рассмотрим характеристики метеора, которые входят в программу-максимум.

1. М о м е н т   п р о л е т а T. Момент должен быть зарегистрирован с такой точностью, которая соответствовала бы точности определения положения метеора. Положение метеора при наблюдениях невооруженным глазом определяется с точностью менее 15′ дуги, следовательно, момент должен отмечаться с точностью до 1 мин. Время определяется по часам с известной поправкой и ходом. Особенно удобны для метеорных наблюдений часы со светящимися стрелками, которые дают возможность работать без освещения. Запись момента (так же, как и других характеристик) производится «слепым» методом, т. е. не отрывая глаз от неба.

2. П о л о ж е н и е   и   н а п р а в л е н и е   п о л е т а. Для определения координат начала и конца метеора наблюдатель должен очень хорошо знать звездное небо. Практически надо знать все звезды ярче 4 величины и часть звезд 5 величины, т. е. 500 звезд. Запись положения и направления метеора удобно вести так: если метеор появился около α Лиры и исчез у α Лебедя, то пишется: α Lyr→α Cyg, если метеор пролетел параллельно направлению о — δ Лебедя, но появился на 2° севернее α Лиры и на 3° не долетел до α Лебедя, то запись будет выглядеть так:

$$\alpha \overset{2^\circ}{\mathrm{Lyr}} \rightarrow 3^\circ \alpha\, \mathrm{Cyg} \parallel o\delta \mathrm{Cyg}.$$

Наблюдателю в процессе работы следует выбрать опорные звезды, по которым он будет определять положение и направление метеора, равномерно распределив их по небу. При обработке наблюдений, со звездной карты снимают координаты начала и конца $\alpha_н$, $\delta_н$; $\alpha_к$, $\delta_к$. Опытному наблюдателю необходимо исследовать также ошибки сноса и поворота.

3. У г л о в а я   д л и н а λ п у т и   м е т е о р а определяется независимо от положения начала и конца по сравнению с угловыми расстояниями между звездами. Удобными эталонами являются расстояния: $\alpha\beta$ Б. Медведицы (5°,2), $\alpha\beta$ Пегаса (13°) и т. п. Наблюдатель сам должен выбрать такие пары. Следует только помнить, что эталонные звезды должны лежать на той же высоте, что и метеор, так как, вследствие сплюснутости небосвода, у горизонта созвездия кажутся больше.

4. Угловая скорость ω определяется баллами в следующей шкале:

Стационарный	0	Довольно быстрый	5
Очень медленный	1	Быстрый	6
Медленный	2	Очень быстрый	7
Довольно медленный	3	Чрезвычайно быстрый	8
Средний	4		

Лабораторные измерения показали, что эта эмпирическая шкала связана с угловой скоростью ω′, выраженной в *град/сек* степенной зависимостью, т. е.

$$\omega' = a\,10^{b\omega},$$

где a и b — числовые коэффициенты, несколько различающиеся у различных наблюдателей. В среднем можно полагать, что баллы шкалы соответствуют следующим угловым скоростям:

Баллы	1	2	3	4	5	6	7	8
ω, *град/сек*	7	10	14	20	30	44	64	94

Для начала можно пользоваться не всеми баллами, а через один и с приобретением опыта переходить к промежуточным. В редких случаях приходиться отмечать угловые торможения (6→4).

5. Продолжительность полета τ оценивается в секундах. Чтобы выработать у себя «чувство секунды», наблюдатель должен некоторое время потренироваться в отсчете малых промежутков времени с секундомером, хронометром, метрономом или часами с секундной стрелкой. Постепенно у наблюдателя вырабатывается определенная шкала времени. Время τ, определяемое наблюдателем, связано с истинным временем τ′ линейной зависимостью

$$\tau' = k\tau + c.$$

Численные значения k и c определяются опытным путем, причем c обычно мало, а k близко к единице.

6. Звездная величина метеора m находится сравнением со звездами. Для работы надо знать величины примерно 100 звезд, равномерно распределенных по небу. Достаточная точность оценок достигается опытом, и у опытных наблюдателей доходит до ±0,25 звездной величины. Начинающий наблюдатель может записывать звездные величины метеоров с точностью до 0,5 звездной величины.

Для последующей теоретической интерпретации важно знать, к чему относится оценка: к среднему или к максимальному блеску, а если наблюдалась вспышка, отметить ее отдельно. Лучше фиксировать максимум блеска.

7. Цвет метеора c оценивается по глазомерной шкале Остгофа. Цвета можно определять только у ярких метеоров не слабее 3 звездной величины. Иногда цвет метеора меняется, и это также отмечается.

Шкала для определения цвета матеоров

Бело-голубой	-2	Чисто желтый	4
Голубовато-белый	-1	Темно-желтый	5
Белый	0	Красновато-желтый	6
Желтовато-белый	1	Оранжевый	7
Беловато-желтый	2	Желтовато-красный	8
		Красный	9

В эту шкалу не входят редкие цвета метеоров: зеленые, фиолетовые и т. п., но их бывает очень мало.

8. Очерченность метеора o. Это понятие характеризует в условных баллах внешний вид метеора согласно следующей шкале:

Очень резко очерченный метеор	5
Резко очерченный метеор	4
Метеор средней очерченности	3
Метеор со слегка размытыми краями	2
Метеор с ясно размытыми краями	1

9. Положение максимума блеска M на траектории метеора, если он имел место, определяется следующим образом: весь метеор мысленно делят на 5 частей, если максимум был вначале, то пишут $^1/_5$, если посредине, то $^3/_5$, если в конце, то $^5/_5$ и т. д. Случается, что метеор не имеет резко выраженного максимума яркости.

10. Плотность метеора n оценивается в пятибалльной шкале: балл 1 обозначает рыхлый тусклый метеор, балл 5 — плотный блестящий звездоподобный метеор.

11. Угловой поперечник d. Многие метеоры имеют заметно выраженную протяженность. Это явление связано как с реальными размерами газовой оболочки метеора, так и с иррадиацией. При наблюдениях отмечается кажущийся поперечник d в угловых минутах, например, 3′.

12. Продолжительность видимости следа τ_s. Если после полета метеора остался след, то по

часам или секундомеру отмечают время его видимости невооруженным глазом с точностью до 1 *сек.* Если желают пронаблюдать след более подробно, пользуются методикой наблюдений дрейфа следов.

13. Плотность следа n_s представляет собою качественную оценку плотности светящегося вещества следа и оценивается в баллах. Яркий плотный след обозначается баллом 5; редкий полупрозрачный, размытый след — баллом 1, остальные баллы — промежуточные.

Опытные наблюдатели отмечают также положение метеора в поле зрения глаз по системе «циферблата». От положения метеора в поле зрения зависят некоторые тонкие эффекты видимости метеора. Запись ведется, например, так: X – 35°; это означает, что метеор замечен в левом верхнем углу поля зрения («10 часов») на расстоянии 35° от центра.

Наблюдатель ведет наблюдения лежа и смотря вверх. Для отметки времени наблюдатель имеет при себе часы и секундомер. Запись при наблюдениях по программе-максимум ведется карандашом «слепым» методом, на ощупь, не отрывая взгляда от неба. Такую запись удобно вести на полоске бумаги, свернутой гармошкой, чтобы запись одного метеора не находила на запись другого. При этом запись имеет примерно такой вид данные записаны в том порядке, в котором излагались выше):

$$№\ 35;\ 23\ ч.\ 03\ м.;\ 4°\alpha\,\mathrm{Cas} \rightarrow \delta\,\mathrm{Cep}\ 1°;\ \lambda\,18°;\ \omega\,4;\ \tau\,0{,}9;\ m\,0{,}5;\ c\,3;\ o\,5;\ {}^4/_5;\ n\,5;\ d\,2';\ \tau_s\,10;\ n_s 4;\ \mathrm{IX} - 45°.$$

В ближайшее же время после наблюдений записи надо расшифровать, метеоры нанести на карту и составить таблицу наблюдений метеоров, где помимо общих данных должны быть указаны поправки часов, время начала и конца наблюдений, эпоха, к которой относятся координаты, и следующие данные:

Журнал наблюдений по программе-максимум

(Общие сведения)

№	T	Начало		Конец		λ	ω	τ	m	c	o	M	n	d	τ_s	n_s	Примечания
		$\alpha_н$	$\delta_н$	$\alpha_к$	$\delta_к$												

Эта таблица вместе с картой составляет наблюдательный материал, который подвергается обработке различными способами. Данные такого квалифицированного счета используются для статистического определения высот, скоростей, радиантов и т. п. (см. [10]).

Если наблюдения по программе-максимум ведутся в неограниченной области и одним наблюдателем, который сам ведет запись, то в результате их нельзя получить данные, связанные с абсолютной численностью метеоров, так как часть метеоров неизбежно теряется. Конечно, программу-максимум можно применить и к многократному счету, но это практически возможно только тогда, когда число метеоров не очень велико.

НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ

Кроме обычных метеоров (от 6 звездной величины и ярче), видимых на небе невооруженным глазом, существуют очень слабые метеоры, которые можно наблюдать только при помощи оптических средств. Эти метеоры и получили название телескопических (телеметеоров). К классу телеметеоров относятся метеоры с блеском от 7 до 16 звездных величин.

Если обычные метеоры изучены в настоящее время сравнительно хорошо, то телеметеоры остаются по сей день мало исследованными объектами. Единственным методом их изучения остается пока визуальный. Для астрономов-любителей здесь открывается обширное поле деятельности. Но необходимо предупредить начинающих наблюдателей, что эти наблюдения больше, чем какие-либо другие, требуют терпения и настойчивости. Иногда можно наблюдать один-два часа и не увидеть ни одного телеметеора.

При выборе инструмента наблюдатель должен руководствоваться двумя важными требованиями: необходимо достаточно большое поле зрения и большая светосила. Если D — диаметр объектива, то наиболее рациональное увеличение W будет, по С. В. Орлову, равно $W = \frac{D\,мм}{6{,}7}$.

Хорошими инструментами для наблюдения телеметеоров являются бинокулярные трубы Цейсса (D — 80 *мм*), различного вида стереотрубы, кометоискатели и появившиеся в последнее время трубы АТ-1, а также полевые бинокли с увеличением в 8 и более раз.

Звездные карты для наблюдателя выбираются в зависимости от инструмента, так, чтобы масштаб их был в соответствии с реальным масштабом звездного неба, наблюдаемого в инструмент, или немногим больше. Большой «Звездный атлас» А. А. Михайлова, изд. 1957 г. (масштаб 1° = 6 *мм*) удобен при

наблюдении с биноклями 8 × 30 *мм*. Для бинокуляра Цейсса применимы звездные карты Боннского обозрения неба и карты «Атласа неба» А. Бечваржа.

При наблюдении телескопических метеоров могут быть поставлены различные цели и задачи исследований. Назовем некоторые из них.

1. Уточнение радиантов некоторых больших метеорных потоков. Имеются в виду в основном молодые метеорные потоки, в которых обнаруживается присутствие телеметеоров наряду с крупными метеорными частицами (например, Дракониды). Наоборот, старые потоки (Персеиды, Андромедиды) очень бедны мелкими частичками.

2. Определение самостоятельных телеметеорных радиантов, не связанных с большими потоками, и распределение их по небу.

В первом случае выбирается область в 3—5° от действующего радианта и наблюдатель держит эту область в поле зрения в течение всего периода наблюдений. Опыт показал, что наблюдать нужно не менее 3—4 час. в одну ночь. Во избежание фиктивных радиантов необходимо соблюдать условия, описанные на стр. 17. Время действия радианта определяется как середина интервала наблюдений первого и последнего метеора в сотых долях суток по мировому времени, с указанием эпохи, к которой отнесены координаты радианта. Поправки за зенитное притяжение и суточную аберрацию необходимо вводить, если есть возможность, при обработке наблюдений.

Во втором случае выбирается какая-либо область неба, в целях отыскания там радиантов, причем не ниже $z = 60—70°$, так как при больших зенитных расстояниях истинные телеметеоры практически не видны в результате большого поглощения света в атмосфере. Область зенита является в этом смысле самой удобной. Наблюдатель располагается в лежачем положении с укрепленным на штативе биноклем или бинокуляром. Труба или бинокль остается неподвижной во время наблюдений, что немного усложняет занесение метеоров на карту, но зато помогает быстрее и увереннее выявлять действующие радианты.

Следует особо обратить внимание на слабую изученность радиантов южного неба. Поэтому наблюдателям южной полосы СССР желательно использовать свое удобное географическое положение.

Большое значение имеет вопрос о численности телеметеоров, поскольку он позволяет решить задачу о распределении метеорных частиц малых масс в межпланетном пространстве.

Программа исследования численности телеметеоров должна

состоять из двух взаимосвязанных разделов: 1) наблюдение телеметеоров в зенитной области, по 3 часа в ночь, симметрично относительно местной полуночи с неподвижным инструментом и 2) наблюдения в Северной полярной области, имеющие целью выяснить зависимость численности телеметеоров от широты места наблюдения. Здесь необходима организованная работа нескольких пунктов, расположенных на различных широтах.

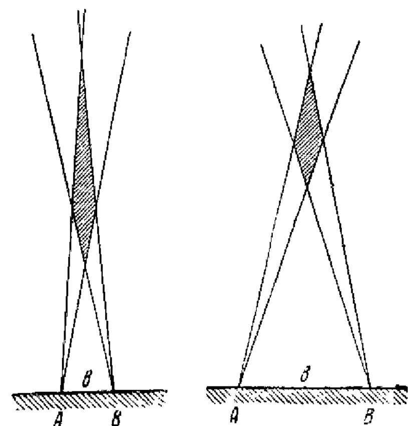
При счете телеметеоров строго фиксируются перерывы и чистое время наблюдений. В журнале отмечается момент полета (до 1 мин.), блеск (до $0^m,2—0^m,5$), цвет, позиционный угол P, положение относительно поля зрения и другие характеристики — по мере возможности.

В результате наблюдений получают видимые часовые числа телеметеоров для каждой звездной величины. Их необходимо исправить за эффект бокового зрения, заключающегося в том, что на краю поля зрения теряется очень большой процент слабых телеметеоров. С целью изучения этого эффекта наблюдается центр Северной полярной области, замечая, на каком расстоянии от центра видны телеметеоры различного блеска. Если S_0 — площадь поля зрения инструмента, S_m — площадь поля зрения, на которой видны метеоры данного блеска, n — видимое часовое число метеоров, тогда часовое число N, исправленное за эффект бокового зрения, равно: $N = n\frac{S_0}{S_m}$. Таким образом получаем распределение числа телеметеоров различных звездных величин.

Если имеется группа наблюдателей в 3—4 человека, то можно организовать многократный счет телеметеоров. Методика и возможности в принципе те же, что и для обычных метеоров. Разница только в том, что роль рамки играет поле зрения инструмента. Из многократных наблюдений телеметеоров можно получать истинное распределение метеоров по блеску, т. е. функцию светимости.

Попутно с вопросами численности решаются и другие задачи, например изменение часовых чисел телеметеоров в течение суток, года, т. е. суточная и годичная вариации. Наблюдения в зенитной области (где азимуты направлений полета получаются в чистом виде: $P — a$) дают возможность установить преобладающее направление движения телеметеоров, что очень важно. Интересно проследить одновременно суточную вариацию направлений движения и суточную и азимутальную вариацию среднего блеска телескопических метеоров, откуда можно сделать вывод о том, из каких областей и какие метеоры попадают к нам в течение суток.

Весьма мало изучены высоты телеметеоров. Крайне желателен большой ряд наблюдений с этой целью. Наблюдения должны вестись с концов базиса однотипными инструментами, оптические оси которых наклоняются навстречу друг другу на величину параллактического смещения, чтобы в поле зрения попали общие метеоры. Обозреваемая область пространства, его размеры и высота сильно зависят от размеров базиса (фиг. 8). Чем сильнее скрещиваются оптические оси корреспондирующих труб, тем меньше объем области и интервал охватываемых высот. При наблюдении на меньшем базисе, с меньшим углом скрещивания область перекрытия увеличивается, но возрастают ошибки определения высот в результате очень малого параллакса метеоров. В этом заключается главная трудность определения высот телеметеоров.



Фиг. 8. Область перекрытия при различных базисах и углах скрещивания

В последнее время, чтобы иметь большую область перекрытия и, следовательно, большой процент парных метеоров, и чтобы не отсеять низких метеоров, для наблюдений телеметеоров применялся короткий базис (не более 500 *м*). Средний параллакс при этом оказывается в 3—4 раза больше ошибки наблюдений, что допустимо. Ошибка в положении телеметеора меньше, чем у обычных метеоров ($\pm 1^\circ$), во столько раз, каково применяемое увеличение инструмента. Например при 12-кратном увеличении она равна $\pm 5'$.

Необходимы новые определения высот телеметеоров на базисе 1000—3000 *м* в зенитной области. Короткие базисы надо применять осторожно, в особенности неопытным наблюдателям, так как искомый параллакс делается сравнимым с величиной ошибки нанесения метеора на карту.

Для исследования личных ошибок необходимы параллельные наблюдения несколькими наблюдателями одной и той же области неба с однотипными инструментами. Выводы о средних ошибках в оценке различных физических свойств (яркости, цвета и т. д.) и ошибках положений (снос, поворот и смещение) нужно делать на большом фактическом материале. Желательно исследовать на большом ряде наблюдений вопрос

об относительных высотах телеметеоров, в частности, об их суточной вариации. Формула для вычисления $H_н/H_к$ приведена на стр. 26. Наблюдатель может поставить перед собой и такую цель: выяснение различных статистических зависимостей между отдельными физическими характеристиками телеметеоров.

Интересной и мало исследованной областью является спектроскопия телеметеоров. Спектры даже ярких метеоров, к которым применима фотография, остаются мало изученными, о спектрах же слабых метеоров до последнего времени практически ничего не известно. Для решения этой задачи необходимы новые наблюдения большого числа наблюдателей. Бинокль с установленной на него призмой с преломляющим углом в 45° следует ориентировать так, чтобы метеоры, движущиеся в большинстве своем с юга, со стороны эклиптики, шли в поле зрения перпендикулярно к направлению дисперсии призмы. В журнале следует отмечать: момент, звездную величину, положение максимума блеска и другие физические свойства метеора. О спектре сообщается: число замеченных линий, их цвет, относительная яркость, ширина, длина, продолжительность видимости и все замеченные особенности спектра с приложением рисунка.

Запись наблюдений телеметеоров ведется по следующей форме.

Журнал наблюдений телеметеоров

(Общие сведения)

1. Дата: 1957 г. 17—18 VII.
2. Время: начало 21 ч. 30 м., конец 0 ч. 30 м. (декретное время).
3. Перерывы: 23 ч. 15 м. — 23 ч. 30 м.
4. Чистый интервал: 2,8 часа.
5. Предельная видимость звезд: 11^m.

№	T	m	τ	c	o	ω	λ	P	M	$\pm$	$\alpha_н$	$\delta_н$	$\alpha_к$	$\delta_к$	n_s	τ_s	λ_s	Примечания

Характеристики c, ω, o и n оцениваются в баллах шкал, приведенных выше. Момент полета фиксируется в случае базисных наблюдений до 0,5 мин.; для задач, не связанных с положением метеора, достаточна точность в 1 мин.; блеск желательно определять с точностью большей, чем 0,5.

Особое внимание нужно уделить оценкам продолжительности полета τ, так как телеметеоры имеют $\tau \approx 0,2 - 0,3$ *сек* и

ошибка даже в 0,1*сек* сильно искажает значение скорости. Поэтому наблюдатели должны постоянно тренироваться в оценке коротких интервалов времени. Желательно каждому наблюдателю знать свои коэффициенты в формуле $\tau' = k\tau + c$.

Длина λ определяется в десятых долях диаметра поля зрения, а затем переводится в градусы. Позиционный угол P отсчитывается от точки севера по часовой стрелке по «правилу циферблата», при обработке угол переводится в градусы. При этом надо учитывать, прямое, обратное или зеркальное изображение даст труба.

Во время наблюдений запись ведется в темноте на листе бумаги, свернутом в узкую полоску, не отводя глаз от инструмента (за исключением времени нанесения телеметеора на карту). Черновая запись имеет вид, подобный той, которая приведена в качестве примера в разделе «Программа-максимум». Можно также диктовать все данные секретарю. Не позже чем на следующий день проводится первичная обработка наблюдений, заключающаяся в оформлении каталога телеметеоров. Телеметеоры наносятся на звездную карту, снимаются координаты начала и конца пути. Если выявлен радиант, то следует его определить сразу же в день наблюдений. Моменты времени в общем журнале наблюдений записываются уже с учетом поправки часов. В графу «Примечания» вносятся все особенности данного метеора (его форма, след, изменения блеска, скорости, обстоятельства появления и исчезновения и т. д.). В таком виде журнал наблюдений или каталог будет готов для последующей обработки с любых точек зрения. Если ведутся и спектральные наблюдения, то подобный журнал нужно завести особо. Из сказанного выше ясно, какие данные он должен включать.

В случае базисных наблюдений обработка делается следующим образом. Высоты вычисляются по формуле

$$H = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_A \sin \gamma_B = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_B \sin \gamma_A, \qquad (23)$$

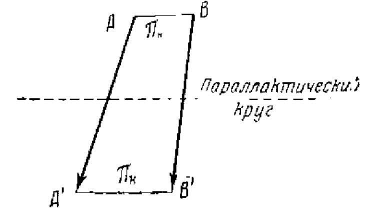
где b — длина базиса, π — параллакс метеора, z_A и z_B — зенитное расстояние метеора в пунктах A и B; γ_A и γ_B — углы между направлением базиса и направлениями на метеор соответственно в первом и во втором случаях. Второе равенство в формуле (23) служит для контроля.

Величины углов γ_A, γ_B можно найти аналитически: $\cos \gamma_A = \sin z_A \cos (a_A - a)$; $\cos \gamma_B = \sin z_B \cos (a_B - a + 180°)$, где a — азимут базиса, a_A и a_B — азимуты метеоров для пунктов A и B. Азимуты вычисляют, зная координаты (α, δ) метеора и время полета. Параллакс снимается с карты. Для

этого, зная азимут базиса, проводим на звездной карте **параллактический круг** AB, по которому происходит видимое смещение метеора, наблюдаемого с концов базиса. Расстояние по параллактическому кругу между какими-либо точками базисного метеора будет искомым параллаксом. Например (фиг. 9), отрезок $AB = \pi_н$, $A'B' = \pi_к$. Обычно начала телеметеоров определяются с бо́льшими ошибками, чем концы, поэтому лучше определять параллаксы концов. Обычно наблюдения ведутся в зените, при этом формулы (23) упрощаются. В противном случае удобно ввести приведенный к зениту параллакс π_z

$$\pi = \pi_z \cos z \qquad (24)$$

и учесть, что базис выгодно расположить перпендикулярно направлению на наблюдаемую область.



Фиг. 9. Определение параллакса телескопического метеора

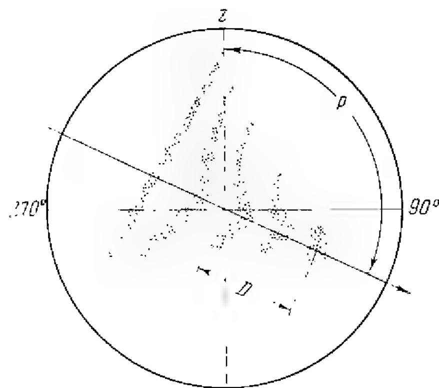
НАБЛЮДЕНИЯ ДРЕЙФА МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

При полете ярких метеоров в атмосфере иногда остается светящийся **след** — состоящий из ионизованных газов. Простым глазом след бывает, как правило, виден 2—3 *сек*, но в бинокль или небольшой телескоп длительность вида следа доходит до нескольких минут. В течение этого времени след заметно смещается и теряет свою яркость. Смещение — **дрейф следа** — происходит под действием ветров в стратосфере и позволяет изучить их направление и скорость [14].

Метеорные следы можно наблюдать в любые светосильные трубы, имеющие большое (несколько градусов) поле зрения и небольшое (около 10 раз) увеличение. Хорошо зарекомендовали себя 8-кратный полевой бинокль, бинокуляр «Асембі», трубы АТ-1. Предназначенная для наблюдений следов труба должна быть установлена на прочном, удобном азимутальном штативе.

Следы можно наблюдать двояким путем: либо непрерывно смотря в трубу, наведенную в какую-то точку неба, ожидать пролета метеора в поле зрения, либо, наблюдая невооруженным глазом за всем небом, быстро наводить трубу на место только что пролетевшего яркого метеора. Первый метод приходится применять при базисных (абсолютных) определениях высот следов. Но получение достаточного наблюдательного материала таким путем требует, очевидно, очень большого времени. Второй метод позволяет получить большее количество

наблюдений, поэтому мы остановимся главным образом на нем. Техника наблюдений состоит в следующем. В момент пролета метеора наблюдатель замечает время и ищет след, начиная с наиболее яркой, обычно конечной точки. Это надо осуществить за 5—8 *сек.* Как только след найден, наблюдатель осматривает его, замечает какой-нибудь узелок, ставит его в центр поля зрения и начинает следить за перемещением и изменением формы следа. Одновременно наблюдатель или его помощник должен заметить точку неба, на которую наведен инструмент. Это можно сделать двумя способами: сразу отметить азимут и зенитное расстояние (для этого инструмент должен быть снабжен кругами и отнивелирован) или запомнить звезды, видимые в поле зрения трубы (тогда азимут и зенитное расстояние можно будет впоследствии рассчитать). Первый способ проще, но требует дополнительного оборудования инструмента.



Фиг. 10. Дрейф следа метеора относительно поля зрения трубы

Опытные наблюдатели, хорошо ориентирующиеся в звездном небе, регистрируют дрейф следа, зарисовывая его через 20—25 *сек* на звездной карте [15]. Для этой цели необходим звездный атлас со звездами до 7—8 величины, например большой «Звездный атлас» А. А. Михайлова [16] или атлас А. Бечваржа. Однако операции со звездной картой в момент наблюдения требуют света, что отрицательно сказывается на зрении.

Рациональнее отмечать положение следа относительно центра поля зрения инструмента (фиг. 10). Расстояние следа от центра D выражается в десятых долях поля зрения, а положение — позиционным углом P, который отсчитывается от вертикала центра поля зрения против часовой стрелки (для земного окуляра — по часовой стрелке). Можно рекомендовать следующую форму записи наблюдений (стр. 39).

К записям прикладываются зарисовки следа, если они сделаны; в примечаниях указывается типичная форма следа: «полоска», «веретено», «сгусток», «кольцо». Особо отмечаются турбулентные явления, резкие изгибы и изменения направления

Наблюдения дрейфа следов метеоров

(Общие сведения)

Момент	m	Поток	Положения центра поля зрения		P	D	Ширина следа	n_s	Примечания
4 ч. 28 м. 00 с.	—2	Перс.	2 ч. 33 м.	+54°	250°	0,0	20′	5	«Веретено»
10					250	0,2	25	5	
25					250	0,4	30	4	
40					250	0,6	35	4	

движения. Время каждой отметки положения следа регистрируется по секундомеру, который был пущен в момент пролета метеора, с точностью до 1 *сек.* Наблюдения продолжаются до момента исчезновения следа или до исчезновения его за границей поля зрения. Если желательно продолжить наблюдения, то трубу надо подвинуть за следом, строго отметив, на какую величину и в каком направлении она сдвинута; иначе измерения, сделанные после сдвига, нельзя будет привязать к предыдущим.

Таким образом, в результате наблюдений получается направление на след в начальный момент (азимут a и зенитное расстояние z) и румб дрейфа следа, определяемый позиционным углом P. Из этих данных можно определить направление и скорость дрейфа следа в атмосфере. При односторонних наблюдениях остается неизвестной высота следа H, поэтому ее обычно полагают равной 87 *км* (наиболее яркая часть). Дрейф следа при этом считается горизонтальным, что в общем верно для средних широт. Направление и скорость дрейфа характеризуют западной v_W и южной v_S компонентами скорости. Они находятся следующим образом. Вычисляют сначала радиальную x и тангенциальную y составляющую скорости дрейфа по формулам

$$x = -H \frac{\Delta D}{\Delta t} \frac{\cos P}{\cos^2 z}; \quad y = H \frac{\Delta D}{\Delta t} \frac{\sin P}{\cos z}, \qquad (25), (26)$$

где $H = 87$ *км*, $\frac{\Delta D}{\Delta t}$ — угловое перемещение следа, выраженное в радианах в секунду, z — зенитное расстояние и P — позиционный угол (для земного окуляра). Южная и западная компоненты получаются затем следующим образом:

$$v_S = x \cos a - y \sin a; \quad v_W = x \sin a + y \cos a. \qquad (27)$$

Очевидно, что результирующая скорость дрейфа $v = \sqrt{v_S^2 + v_W^2}$. Имея много наблюдений дрейфа следов, можно построить диаграмму, которая будет характеризовать распределение скоростей и направлений ветров в стратосфере над пунктом наблюдения за данный промежуток времени. Весьма важным является изучение ветров в стратосфере в течение круглого года, а также их суточного изменения.

Существенный недостаток одностороннего метода наблюдения следов — неопределенность высоты, которая берется априорно, а также предположение о горизонтальности дрейфа, поэтому особую ценность имеют наблюдения следов одновременно с базисным фотографированием. Фотографический метод с высокой точностью дает положение и высоту траектории метеора, к которому можно привязать наблюдения следов.

НАБЛЮДЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО С РАДИОЛОКАТОРОМ

Радиолокационная регистрация метеоров основана на том, что радиоволны с длиной волны от 4 до 12 *м* отражаются от трубки ионизированного воздуха, возникающего в атмосфере вдоль траектории метеора. Мощность радиоэхо зависит от электрических свойств метеора, его ориентировки относительно антенн и от параметров радиоаппаратуры. Таким образом, радиолокатор определяет не оптические, а электромагнитные характеристики метеорного явления. Цель параллельных визуальных наблюдений в пунктах радиолокации — сравнение численности метеоров, их блеска и других данных, получаемых обоими методами, и определение отсюда различных параметров метеорных явлений. Программа визуальных наблюдений зависит от характера радиолокационных наблюдений и применяемой аппаратуры и должна быть специально установлена в каждом отдельном случае.

Существенным моментом наблюдений является общность метеоров, зарегистрированных визуально и радиолокатором. Для этого надо либо строго регистрировать моменты метеоров (до 1 *сек*), либо провести электрическую сигнализацию от визуальных наблюдателей к регистрирующему приспособлению радиолокатора. В последнем случае от визуального наблюдателя для регистрации момента требуется лишь нажатие кнопки.

При организации наблюдений, оборудовании площадки и при записи результатов надо придерживаться общих правил визуальных наблюдений, изложенных в предыдущих разделах.

Фотографический метод в настоящее время дает наиболее точные астрометрические сведения о метеоре, т. е. о его направлении, высоте, торможении, из которых в свою очередь можно получить данные об орбите и о свойствах атмосферы. Поэтому именно путем фотографических наблюдений можно получить весьма ценный научный материал. Всесторонняя обработка фотографий метеоров достаточно сложна, но нет необходимости производить ее самостоятельно. Полученный по всем правилам снимок может быть быстро обработан специалистами. Получить фотографию метеора с одного пункта, особенно в период действия потока, сравнительно нетрудно, но гораздо более сложно получить полноценную, пригодную для обработки фотографию. Ниже мы рассмотрим фотографирование метеоров из двух пунктов, на одном из которых установлен обтюратор.

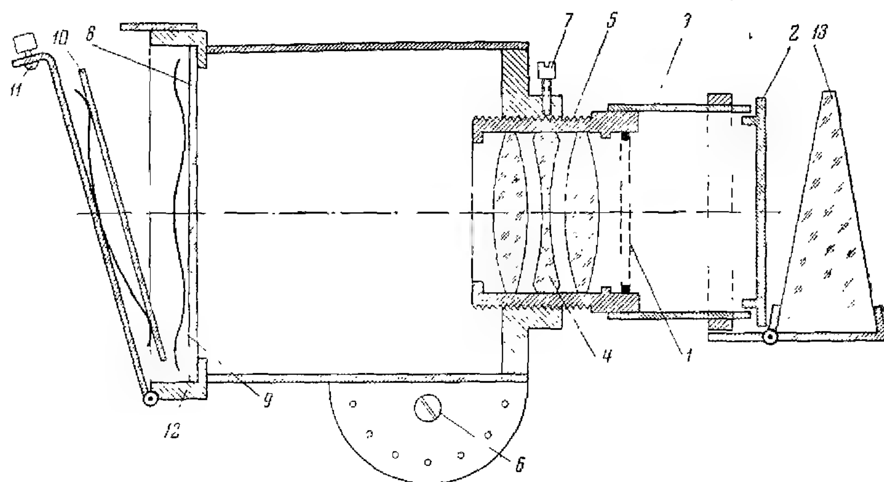
Метеор — очень быстро движущийся объект. Каждая его точка экспонируется фактически в тысячные доли секунды. Поэтому с обычной аппаратурой сейчас можно снимать только сравнительно яркие метеоры, примерно до +2 величины. Для фотографирования метеоров следует применять самые светосильные камеры с относительным отверстием 1 : 2; 1 : 3,5, самые высокочувствительные фотопленки: 250—350 единиц ГОСТ и наиболее энергичные проявители. Если отверстие камеры меньше 1 : 4,5 и пленка имеет чувствительность менее 130 ГОСТ, фотографировать не стоит. Важной характеристикой объектива является его фокусное расстояние, от него зависит масштаб изображения и, следовательно, точность измерений. Вот почему нежелательно применять объективы от малоформатных фотокамер с фокусным расстоянием около 50 мм (типа Юпитер-8). Наиболее целесообразны фокусные расстояния около 10—15 *см*.

Чтобы сравнить достоинства объективов, можно пользоваться индексом эффективности фотокамеры для метеоров $\frac{D^2}{F}$, где D — отверстие, а F — фокус объектива. При прочих равных условиях лучше тот объектив, у которого индекс больше. Кроме того, объектив должен быть достаточно широкоугольным, поле его изображения должно быть не менее чем 30 × 30 градусов.

В метеорной практике применяются аэрофотокамеры с объективами Ксенон, Аэро-Эктар, Уран-9, любительские камеры типа «Любитель» и т. п. Аэрофотосъемочные камеры работают на рулонной пленке. Для любительской практики целесообразно переделать кассетную часть камеры под плоскую пленку и сделать постоянно закрепленную на камере кассету.

Это позволит добиться резкой фокусировки (фиг. 11). Зарядку пленки в таком случае приходится вести в темном мешке, надеваемом на камеру. Рулонная пленка удобна, если есть оборудование для ее проявления.

Камера должна иметь прочные винты крепления, чтобы исключить возможность перемещения во время экспозиции.

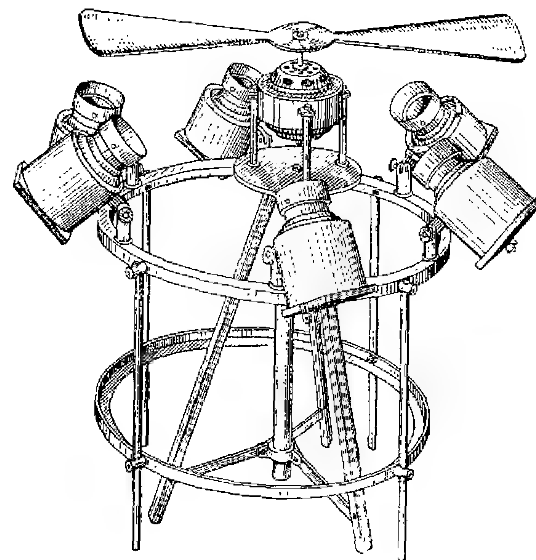


Фиг. 11. Схема устройства камеры для фотографирования метеоров

1 — провода подогрева; *2* — крышка; *3* — противоросник; *4* — объектив; *5* — резьба фокусировки; *6* — винт крепления; *7* — стопор; *8* — прижимное стекло; *9* — фотопленка; *10* — прижимная пластинка; *11* — защелка крышки кассеты; *12* — корпус кассеты; *13* — съемная объективная призма

Фотокамера обязательно снабжается п р о т и в о р о с н и к о м, который предохраняет от рассеянного света, и до некоторой степени от росы (фиг. 11). При сильной влажности воздуха (под утро) объективы запотевают. Чтобы этого не было, объектив подогревают. Система подогрева осуществляется в виде нескольких тонких параллельных проволочек, натянутых перед линзами объектива, по которым пускается низковольтный ток. Особое внимание при подготовке следует уделить фокусировке камер: от этого зависит предельная величина метеора. Обработка негативных пленок (проявление, фиксирование и т. д.) производится обычным порядком [17]. Обычно применяются энергичные проявители, например проявитель Чибисова. Подготовку реактивов и весь процесс фотографической обработки необходимо вести со всей тщательностью, учитывая, что малейшая оплошность может погубить большой труд.

Практика показывает, что хорошими фотоматериалами один метеор можно заснять примерно за 5 час. экспозиции. Чтобы увеличить количество сфотографированных метеоров, фотографирование ведут одновременно на нескольких камерах, объединенных в так называемый метеорный патруль,



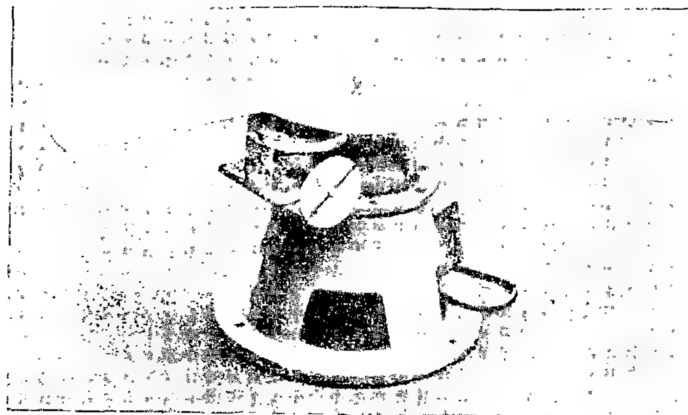
Фиг. 12. Устройство фотографического метеорного патруля

устройство которого ясно из фиг. 12. Мы в дальнейшем будем рассматривать только неподвижный патруль. В патруле может быть 2, 4, 6 камер, при большем количестве камер (если они не автоматизированы) обслуживание их становится обременительным. Такой же патруль устанавливается и на базисном пункте (см. ниже).

Чтобы определить скорость метеора, фотографирование производится через о б т ю р а т о р, т. е. вращающийся перед объективом сектор или диск с отверстиями в форме секторов, на короткие промежутки закрывающий (фиг. 13) объективы камер. Метеор при этом получается с перерывами (фиг. 14). Скорость вращения и количество лопастей должны быть такими, чтобы обтюратор давал 50—75 перерывов в секунду. Рекомендуется делать обтюратор двухлопастным, тогда вал

обтюратора должен делать около 2000 *об/мин* и перерывы будут резче, чем при многолопастном обтюраторе.

Важнейшая задача при работе обтюратора — надежный контроль числа оборотов и постоянства скорости вращения, так как продолжительность одного перерыва — основа для

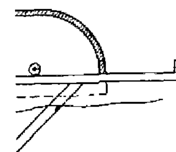


Фиг. 13. Обтюратор со счетчиком для контроля оборотов

определения скорости метеора. Постоянство скорости достигается поддерживанием постоянства напряжения, например, включением электромотора через стабилизатор напряжения. Измерение числа оборотов можно осуществить разными способами. Например, на вал обтюратора надевается ротор маленького генератора; в обмотке генератора возникает переменный ток, частота которого измеряется промышленным измерителем частоты. Для контроля оборотов применяется также принцип стробоскопического освещения. Имеются фирменные частотомеры, основанные на освещении вращающихся деталей кратковременными вспышками газосветных ламп с известной частотой. Подобного типа стробоскоп легко изготовить и самостоятельно. Наиболее простым и надежным прибором является счетчик оборотов, присоединенный к валу обтюратора через 50—60-кратный редуктор. Со счетчика время от времени снимаются показания. Любым способом частота перерывов должна быть известна с точностью до 0,5%.

Для определения высоты метеоров необходимо фотографировать их из двух пунктов *A* и *B*. Точность определения высоты зависит от величины б а з и с а: чем больше базис, тем больше п а р а л л а к т и ч е с к и й у г о л π, который входит в формулу определения высоты точек метеора. Базис должен быть не менее 16 *км*, практически лучше иметь базис, равный

...м. Важную
...да метеоры
...ом смысле)
... метеорных
...ко базисов.





...патрули

...было обра-
...дения:
...готу λ для

...A и B;
...ений AB и

...ажное зна-
...бку высоты

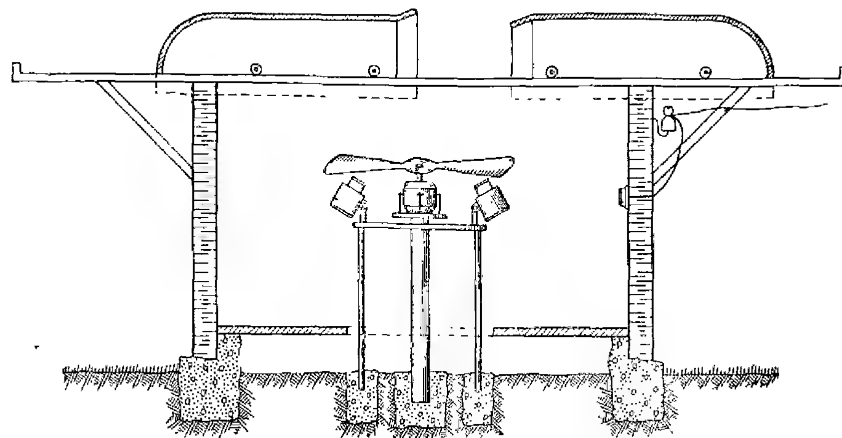
...ины, оче-
...размещения
...боратория,
...ка (на об-
...жет иметь
...их наблю-
...павильоне.
...на с отка-
...ия. Лабо-
...не должно

обтюратор
будут рез
Важней
контроль
так как

Фиг.

определен
ся поддерж
нием элект
числа обор
мер, на вал
в обмотке
рого изме
контроля
ского осве
ные на ос
вспышками
типа строб
лее просты
присоедин
дуктор. Со
Любым сп
с точность
Для оп
ровать их
зависит от
п а р а л л
в формулу
быть не ме

20—25 *км*, при этом α равняется нескольким градусам. Важную роль играет направление базиса; выгоднее всего, когда метеоры летят перпендикулярно к базису. Один базис (в этом смысле) не может быть пригодным для наблюдения всех метеорных потоков и возникает необходимость иметь несколько базисов.



Фиг. 15. Схема устройства павильона для метеорного патруля

Для того чтобы базисные снимки метеоров можно было обработать, необходимо иметь о базисе следующие сведения:

1) географические координаты: широту φ и долготу λ для обоих пунктов A и B, с точностью до $2-3''$;

2) высоты над уровнем моря H_A, H_B пунктов A и B;

3) азимут a_b и зенитное расстояние z_b направлений AB и BA, с точностью до $1'$;

4) длину базиса b с точностью до 0,1%.

Точность, с которой известна длина базиса, имеет важное значение, так как она определяет относительную ошибку высоты и скорости метеоров.

В оборудование наблюдательного пункта должны, очевидно, входить помещения для хранения патруля и размещения довольно сложного электрооборудования, фотолаборатория, теплое помещение для наблюдателей, подводка тока (на обтюраторном пункте) и т. п. Метеорный патруль может иметь и переносную установку. Однако при систематических наблюдениях возникает необходимость в специальном павильоне. На фиг. 15 показана схема простейшего павильона с откатывающейся крышей без подсобного помещения. Лаборантское помещение может быть теплым, оно не должно

сообщаться с отделением, где стоит патруль. Обтюратор и фотокамеры устанавливаются на разных фундаментах, чтобы избежать передачи вибрации. Это очень существенный момент. Камеры с обтюратором несколько приподнимаются над уровнем почвы, что предохраняет их от росы.

Организация фотографических наблюдений слагается из следующих мероприятий. Согласовываются направления камер, установленных на пунктах A и B, чтобы поля корреспондирующих камер **покрывали одну и ту же площадь на высоте** 100 *км*. Направления оптических осей камер должны быть согласованы и очень тщательно, иначе парных фотографий не получится. Заметим, что камеры лучше направлять не в зенит, а наклонно, тогда площадь фотографируемого метеорного слоя (100—80 *км*) будет больше. Согласовываются моменты начал, концов и продолжительности экспозиций, производящихся на пунктах A и B. Обычно одна пленка экспонируется 1—2 часа, в зависимости от яркости ночного неба. Более длительная экспозиция вызывает вуаль. В городе снимать метеоры очень трудно. Перезарядка камер может длиться несколько минут. За ночь, таким образом, можно сделать 3—4 экспозиции. Интервалы, когда камеры открыты, на пунктах A и B должны быть одни и те же.

Во время экспозиции через каждые 20—30 мин. камеры перекрываются на 20—30 *сек*, а моменты начала и конца каждого **перерыва** тщательно регистрируются по часам с точностью до 1 *сек* как минимум. При этом на фотографии на дугах звезд также получаются перерывы; они служат **опорными точками** при измерении негативов. Перекрывать надо сразу все камеры патруля; обычно это делается листом фанеры или специальными затворами. Перерывы на пунктах A и B производятся по возможности в одно и то же время.

Важнейший момент при фотографировании метеоров — определение **момента пролета метеора**. Если момент пролета неизвестен, то из фотографии нельзя будет получить положение метеора в экваториальной системе координат (α, δ), найти радиант и вычислить орбиту, однако высоты в этом случае определять можно. Момент T регистрируется наблюдателем, который непрерывно контролирует во время экспозиции фотографируемую область, отмечая момент, с точностью до секунды, и приблизительное положение всех **ярких** ($m < +1$) метеоров и их звездную величину. Если камер много, контролировать обязательно должны несколько человек. На обтюраторном пункте не реже чем в начале и конце экспозиции проверяется тем или иным способом скорость вращения обтюратора, и результаты записываются.

Негативы, которых при работе патруля получается много,

должны иметь четкую маркировку, во избежание путаницы при обработке. Мы рекомендуем на фотопленке с краю, перед ее закладкой в камеру или сразу же при разрядке делать простым мягким карандашом следующие записи: 1) пункт A или B, 2) дата ночи наблюдения через дробь, 3) номер экспозиции за ночь, 4) номер камеры. Примерно так: A 16/17 авг. 1957 г. III 4.

После проявления и сушки на негативе тушью делается более подробная запись со ссылкой на журнал наблюдений. Журнал фотографирования, помимо общих сведений о наблюдениях, должен содержать следующие сведения:

Журнал фотографирования метеоров, пункт A

Дата: 10 августа 1959 г.	Перерывы:
Экспозиция: № 4.	1) от 3 ч. 00 м. 00 с. до 3 ч. 00 м. 30 с.
Начало: 2 ч. 30 м. 00 с.	2) от 3 ч. 29 м. 00 с. до 3 ч. 29 м. 30 с.
Конец: 4 ч. 31 м. 30 с.	3) от 4 ч. 01 м. 30 с. до 4 ч. 02 м. 00 с.
(поправка часов — 45 с.)	4) от . . . . до . . . .

Скорость обтюратора: 2 ч. 30 м — 945 *об/мин*; 3 ч. 00 м. — 950 *об/мин*

Пролетевшие в области яркие метеоры

T	m	Созвездие	№ камеры	Примечание
3 ч. 24 м. 47 с.	−2,5	Б. Медведица	3	Вспышка в конце

Практика показывает, что патруль из четырех-пяти камер могут обслужить два наблюдателя. Они выполняют перезарядку камер, начинают и кончают по согласованной программе экспозиции, производят перерывы, следят за скоростью обтюратора, подогревом камер и во время экспозиции контролируют область фотографирования. Оборудование пункта должно предусматривать возможность, чтобы во время контролирования наблюдатели находились в удобном положении, лучше всего лежа.

Одним из видов фотографических наблюдений метеоров является получение их спектров. Изучение и интерпретация метеорных спектров — задача очень сложная, но получение высококачественного спектра доступно любителям. Спектр метеора получают при помощи объективной призмы, укрепленной перед объективом камеры. Одновременно с ним получаются спектры звезд, которые затем используются как эталонные спектры. Спектрографировать можно только яркие метеоры, ярче 0 величины.

Для спектрографирования метеоров применяются призмы с небольшими (от 10 до 30°) преломляющими углами, так как большой дисперсии у спектров метеоров все равно получить нельзя вследствие их малой яркости и длительности. Вместо призм лучше применять для спектров метеоров дифракционные решетки, так как они дают возможность получить одновременно со спектром и прямое изображение метеора.

Существенным при спектрографировании метеоров является ориентировка призмы. Очевидно, что наилучший спектр получится тогда, когда метеор пролетит параллельно преломляющему ребру призмы; тогда направление дисперсии будет перпендикулярно к линии полета метеора. Следовательно, ребро призмы надо располагать параллельно наиболее вероятному направлению полета метеоров, например параллельно направлению на радиант. Однако при этом надо позаботиться также и о том, чтобы дисперсия была хотя бы приблизительно перпендикулярна к суточным параллелям звезд, чтобы и спектры звезд получились достаточно хорошими.

Камеры с объективными призмами лучше всего расположить параллельно камерам патруля, чтобы получить фотографию и метеора и его спектра. Техника фокусировки, съемки, обработки и маскировки спектров та же, что и для обычных снимков метеоров.

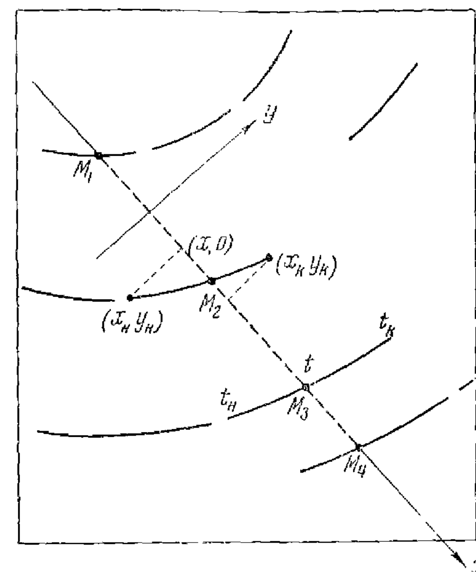
ОБРАБОТКА ФОТОГРАФИЙ МЕТЕОРОВ

Рассмотрим обработку фотографий метеоров с целью получения радианта, высот траектории, скорости и торможения. Ограничимся случаем, когда фотографии получены двумя неподвижными камерами с концов базиса, а момент известен из визуальных наблюдений.

На каждой из парных фотографий, снятых из пунктов A и B, выбираются опорные звезды так, чтобы суточные дуги звезд пересекали фотографический след метеора или его продолжение (фиг. 16). На фотографии, снятой с обтюратором (пункт A) берутся 5—6 звезд, на корреспондирующей фотографии — 3 звезды. Опорные звезды сначала отождествляются по звездному атласу [18], и затем их координаты α и δ берутся из какого-либо каталога.

Координаты опорных звезд, заимствованные из каталога, должны быть приведены к началу года наблюдений путем исправления за собственное движение и прецессию, а затем к моменту наблюдений по известным формулам сферической астрономии. Видимые координаты звезд на данный момент можно взять и из «Астрономического ежегодника». Измерение фотографий метеора производится на измерительном

приборе с двумя измерительными винтами. Ось x совмещается с фотографическим следом метеора. Измеряются концы обтюраторных отрезков метеора, начала и концы дуг суточных параллелей звезд и точки пересечения путей звезд со следом метеора. Эти точки на пути метеора называются **опорными точками** M_1, M_2, M_3, M_4 и т. д. (фиг. 16). Для большей



Фиг. 16. Измерение фотографии метеора и определение координат опорных точек

точности на каждую точку делается несколько наведений, из которых берется среднее. Можно производить измерение фотографии метеора линейкой или палеткой на сильно (в 8—10 раз) увеличенном отпечатке, но такие измерения менее точны.

Склонение δ опорной точки на пути метеора находится непосредственно, так как оно равно склонению звезды, пересекающей метеор. Часовой угол t находится следующим образом. Сначала вычисляются часовые углы начала $t_н$ и конца $t_к$ суточной параллели звезды. Это можно сделать, если известны моменты перерывов в экспозиции. При этом существенно, чтобы часовые углы на обеих пластинках A и B были **отнесены к одной и той же системе координат**: либо пункта A, либо пункта B. Очевидно, что системы часовых углов в пунктах A и B различаются на разность долгот $\Delta\lambda$.

Для определения часового угла опорной точки пользуются линейной интерполяционной формулой

$$\frac{t_н - t}{t - t_к} = \frac{x_н - x}{x - x_к} = \frac{y_н}{y_к}, \tag{28}$$

где $(x_н, y_н)$, $(x_к, y_к)$, $(x, 0)$ — измеренные на снимке координаты начала и конца суточной параллели и опорной точки. Для полярной области применяется формула (29), так как суточные дуги там имеют большую кривизну:

$$\frac{1}{A}\sin\frac{t - t_н}{2} = \frac{1}{B}\sin\frac{t_к - t}{2} = \frac{1}{C}\sin\frac{t_н - t_к}{2}; \tag{29}$$

$$A^2 = (x - x_н)^2 + (y - y_н)^2,\ \ B^2 = (x_н - x)^2 + (y_к - y)^2,$$
$$C^2 = (x_к - x_н)^2 + (y_к - y_н)^2.$$

Для дальнейшего выгодно по известным формулам сферической тригонометрии перевести экваториальные координаты опорных точек t и δ в горизонтальные: азимут a и зенитное расстояние z. При этом существенно, чтобы a и z опорных точек на обоих снимках были отнесены к системе координат какого-либо одного пункта, например A, и все дальнейшие подсчеты вести следует также относительно горизонта и зенита этого пункта.

По двум любым точкам метеора M_1 и M_2 можно написать уравнение большого круга, по которому по небесной сфере двигался метеор:

$$\operatorname{ctg} z_2 \sin(a_1 - a) + \operatorname{ctg} z_1 \sin(a - a_2) + \operatorname{ctg} z \sin(a_2 - a_1) = 0. \tag{30}$$

Это уравнение можно использовать как контроль правильности нахождения опорных точек.

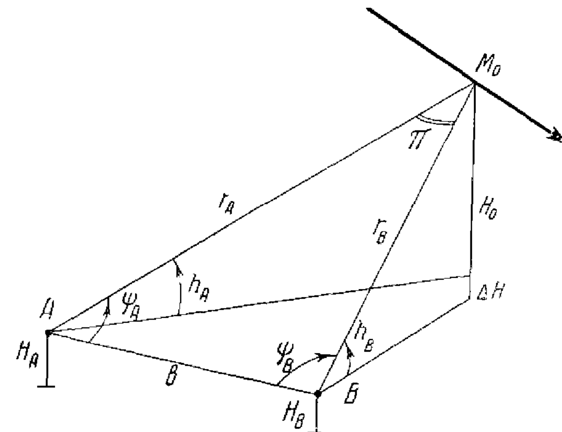
Радиант метеора представляет собой точку пересечения больших кругов этого метеора на фотографиях A и B. Для его нахождения надо решить систему двух уравнений больших кругов пути метеора, видимого из пунктов A и B. Для облегчения вычислений приведем уравнение (30) к линейному виду. Введем вспомогательные координаты

$$p = \operatorname{tg} z \cos a, \quad q = \operatorname{tg} z \sin a; \tag{31}$$

тогда система уравнений больших кругов запишется так:

$$\begin{cases} p_R(q_2 - q_1) - q_R(p_2 - p_1) = p_1 q_2 - q_1 p_2, \\ p_R(q'_2 - q'_1) - q_R(p'_2 - p'_1) = p'_1 q'_2 - q'_1 p'_2, \end{cases} \tag{32}$$

где p и q соответствуют опорным точкам на фотографии A, а p' и q' — на фотографии B. Найдя p_R и q_R, по формулам (31) определяем горизонтальные координаты радианта a_R и z_R и, если необходимо, экваториальные t_R и δ_R. Если известен момент пролета метеора (по звездному времени) s, то можно найти прямое восхождение радианта $\alpha_R = s - t_R$. Отметим, что



Фиг. 17. Определение высоты некоторой точки на траектории метеора

время s берется для того пункта, к системе которого относятся a и z, участвующие в уравнениях (32).

Возьмем на фотографии метеора из пункта A некоторую точку M_A с координатами a_A, z_A или p_A, q_A и найдем одновременную точку M_B на фотографии, снятой с пункта B. Очевидно, что параллактическое смещение происходит по большому кругу, плоскость которого проходит через концы базиса и точку M_A. Направление базиса $A \rightarrow B$ характеризуется точкой на небесной сфере M_b с координатами a_b, z_b или p_b, q_b. Напишем уравнения: параллактического круга, проходящего через точки M_A и M_b, и большого круга метеора, наблюдающегося из пункта B:

$$\begin{cases} p_B(q_A - q_b) - q_B(p_A - p_b) = p_b q_A - q_b p_A, \\ p_B(q'_2 - q'_1) - q_B(p'_2 - p'_1) = p'_1 q'_2 - q'_1 p'_2. \end{cases} \tag{33}$$

Точка пересечения этих больших кругов будет искомой точкой M_B с координатами a_B, z_B или p_B, q_B.

Пусть на фиг. 17 A и B — пункты наблюдения, расстояние $AB = b$ — базис. Пункты находятся на некоторых высотах над уровнем моря H_A и H_B. Величина H_0 — высота некоторой нулевой точки траектории метеора над плоскостью горизонта пункта A. Координаты направлений AM_0 и BM_0 мы уже нашли.

Определим параллактический угол π и вспомогательные углы ψ_A и ψ_B, необходимые для нахождения высоты H_0.

$$\cos \pi = \cos z_A \cos z_B + \sin z_A \sin z_B \cos (a_A - a_B), \tag{34}$$

$$\cos \psi_A = \cos z_A \cos z_b + \sin z_A \sin z_b \cos (a_A - a_b), \tag{35}$$

$$\psi_B = 180^\circ - \psi_A - \pi. \tag{36}$$

Находим расстояния до точки M_0 от пунктов A и B.

$$r_A = b \frac{\sin \psi_B}{\sin \pi}, \qquad r_B = b \frac{\sin \psi_A}{\sin \pi}. \tag{37}$$

После этого, обозначив $H_B - H_A = \Delta H$, имеем:

$$H_0 = r_A \cos z_A = r_B \cos z_B + \Delta H. \tag{38}$$

К. П. Станюковичем и В. В. Федынским было показано, что высоту любой точки метеора H_i можно найти по следующей формуле:

$$H_i = H_0 \frac{p_0 - p_R}{p_i - p_R}, \qquad p_i = \operatorname{tg} z_i \cos a_i, \tag{39}$$

где p_0 — вспомогательный параметр точки M_0, высота которой H_0, p_R — параметр, соответствующий радианту, p_i — параметр произвольной точки метеора на фотоснимке с одного из пунктов. Обычно определяются высоты точек обтюраторных перерывов. Так как число перерывов бывает велико, то непосредственное определение a и z для каждого перерыва становится трудоемкой задачей. Для ее облегчения составляется интерполяционная формула $p = f(x)$, которая дает функциональную зависимость между измеренной вдоль фотографического следа координатой x и параметром p (на снимке A). Достаточно применять квадратическую интерполяционную формулу, хотя можно взять полином и более высокой степени:

$$p = a + bx + cx^2 + dx^3 + \ldots$$

Значения p и x известны для нескольких опорных точек вдоль метеора, поэтому, составив систему условных уравнений и решив ее методом наименьших квадратов относительно a, b, c,..., можно определить эти числовые коэффициенты. Можно функцию $p = f(x)$ задать в дробнолинейном виде или представить графически.

Найденные затем по формуле Федынского — Станюковича высоты относятся к горизонту пункта A. Чтобы найти высоту над уровнем моря, надо к найденным значениям H прибавить H_A и поправку за кривизну Земли, которая находится по формуле

$$\Delta' H = \frac{(r \sin z)^2}{2\rho}, \tag{40}$$

где $r \sin z$ — проекция расстояния r до некоторой точки метеора на плоскость горизонта, а $\rho = 6375$ *км* — средний радиус Земли. Строго говоря, $\Delta' H$ надо определять для каждой точки метеора, но можно ограничиться вычислением $\Delta' H$ для нулевой точки M_0, так как проекция траектории метеора на земную поверхность редко превышает 25—30 *км*.

Зная высоты перерывов, находим длину l_i каждого отрезка. Если период, в течение которого обтюратор делает один перерыв, известен и равен τ *сек*, то скорость на данном отрезке равна

$$v_i = \frac{l_i}{\tau}. \tag{41}$$

По приведенной выше схеме мы имеем возможность построить график зависимости скорости от высоты, что является в данном случае конечным итогом обработки. Эта зависимость представляет собой важную и ценную геофизическую характеристику. Из полученных данных определяются параметры атмосферы и вычисляется орбита метеорного тела. Торможение метеора в атмосфере можно найти, вычислив первые разности скорости в зависимости от времени.

Изложенный выше метод обработки метеорных фотографий не единственный. Возможны принципиально отличные схемы измерений и вычислений. С ним можно ознакомиться в подробных руководствах [3]. Иногда могут возникать и другие случаи обработки фотографий, например обработка снимков, сделанных подвижными камерами, односторонних снимков и т. д.

Основные метеорные потоки, наблюдаемые в северном полушарии

Название	Дата максимума	Радиант		Период действия	n*	Примечания
		α	δ			
Квадрантиды	3.I	15,4	+52°	28.XII—4.I	40	Постоянный, богатый, острый
Гидриды	25.III	12,0	—27	13.III—5.IV	—	Постоянный, бедный, плоский
Виргиниды	3.IV	13,3	— 6	1.III—10.V	—	Постоянный, бедный, пологий
Лириды	22.IV	18,1	+34	12.IV—24.IV	10	Постоянный, богатый, острый
η-Аквариды	4.V	22,3	— 1	29.IV—20.V	8	Постоянный, богатый, острый
Либриды	9.VI	15,1	—28	—	—	Нестабильный; дождь в 1937 г.
Боотиды	9.VI	14,7	+45	—	—	Нестабильный; дождь в 1930 г.
Скорпиониды	14.VI	18,0	—30	30.IV—30.VI	—	Постоянный, бедный, пологий
η-Урсиды	28.VI	14,0	+57	—	—	Нестабильный; дождь в 1927 г.
Корвиды	28.VI	12,8	—19	25.VI—2.VII	—	Нестабильный, бедный поток
β-Кассиопеиды	27.VII	23,7	+60	24.VII—31.VII	—	Постоянный, богатый, острый
δ-Аквариды	28.VII	22,7	—14	25.VII—10.VIII	15	Постоянный, богатый, острый
Персеиды	12.VIII	3,2	+58	20.VII—19.VIII	55	Постоянный, богатый, острый
Цигниды	16.VIII	21,6	+51	25.VII—8.IX	—	Постоянный, бедный, пологий
Цефеиды	18.VIII	20,5	+64	10.VII—20.XI	—	Постоянный, бедный, пологий
Ауригиды	1.IX	5,7	+41	1.IX—3.IX	—	Нестабильный; дождь в 1935 г.
Скульпториды	9.IX	0,5	—26	—	—	Нестабильный; дождь в 1937 г.
Писциды	12.IX	0,0	+ 4	16.VIII—8.IX	—	Постоянный; бедный, пологий
Сент. Персеиды	16.IX	11,6	+53	—		Был активен до 1936 г.
γ-Моноцериды	21.IX	7,3	— 5	—	—	Нестабильный, дождь в 1935 г.
Дракониды	10.X	17,7	+54	9.X—11.X	—	Нестабильный; дождь в 1946 г.
Цетиды	19.X	2,7	5	—	—	Нестабильный; дождь в 1935 г.
Ориониды	22.X	6,3	+15	11.X—30.X	8	Постоянный, богатый, пологий
Южн. Ариетиды	20.X	2,7	+22	15.VIII—15.XI	—	Постоянный, бедный, пологий
Южн. Тауриды	1.XI	3,4	+14	—	—	Постоянный, бедный, пологий
Сев. Тауриды	8.XI	3,7	—22	24.IX—10.XII	—	Постоянный, богатый, пологий
Сев. Ариетиды	10.XI	2,8	20	—		Постоянный, бедный, пологий
Леониды	16.XI	10,1	+22	1.X—22.X	8	Постоянный, бедный, острый
Андромедиды	1.XII	1,7	+43	17.XI—30.XII	2	Постоянный, бедный, пологий
Геминиды	12.XII	7,3	+33	5.XII—19.XII	60	Постоянный, богатый, острый
Урсиды	22.XII	15,5	+83	10.XII—2.I	15	Постоянный, богатый, острый

* n — часовое число в максимуме.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Федынский. Метеоры. Гостехиздат, 1956.
2. В. В. Мартыненко. Симферопольская метеорная станция. Бюлл. ВАГО № 22 (29), 1958; № 26 (33), 1960.
3. Л. А. Катасев. Фотографические методы метеорной астрономии. Гостехиздат, 1957.
4. А. Д. Дубяго. Определение орбит. Гостехиздат, 1949.
5. П. Г. Куликовский. Справочник астронома-любителя. Гостехиздат, 1953.
6. Е. Н. Крамер. Кометные радианты и связь метеорных потоков с кометами. Изв. астрон. обсерв. Одесского ун-та, т. III, 1953.
7. И. С. Астапович. Основной каталог метеорных радиантов XIX века. Изд-во АН Туркм. ССР, 1956.
8. Астрономический календарь (постоянная часть), изд. 4. Физматгиз, 1961.
9. Б. Ловелл. Метеорная астрономия. Физматгиз, 1958.
10. И. С. Астапович. Метеорные явления в атмосфере Земли. Физматгиз, 1958.
11. Р. Л. Хотинок. О наблюдении численности метеоров. Астрономический календарь, 1958.
12. Б. Ю. Левин. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе. Изд-во АН СССР, 1956.
13. М. М. Дагаев и В. В. Федынский. Инструкция для наблюдений метеоров. Изд-во АН СССР, 1949.
14. В. В. Федынский. Результаты наблюдений метеорных следов в Таджикистане. Астрон. журн., **21**, № 6, 1944.
15. В. П. Цесевич. Что и как наблюдать на небе. Гостехиздат, 1950.
16. А. А. Михайлов. Звездный атлас (до 8,25 звездной величины). Гостехиздат, 1957.
17. П. П. Гришин. Опыт фотографирования метеоров в Ашхабадской метеорной экспедиции МОВАГО. Бюлл. ВАГО, № 8 (15), 1950; № 10 (17), 1951.
18. А. А. Михайлов. Звездный атлас (до 5,5 звездной величины) Изд-во АН СССР, 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Общие принципы организации наблюдений метеоров 5
Основные сведения о движении и свечении метеоров. 8
Нанесение метеоров на карту и определение радиантов 14
Многократный счет метеоров и определение плотности метеорных потоков 18
Программа-максимум 26
Наблюдения телескопических метеоров 31
Наблюдения дрейфа метеорных следов 37
Наблюдения параллельно с радиолокатором 40
Фотографирование метеоров 41
Обработка фотографий метеоров 48
Приложение. Основные метеорные потоки, наблюдаемые в северном полушарии 54
Литература 55

И. Т. Зоткин

Инструкция для наблюдений метеоров

Утверждено к печати Центральным советом Всесоюзного астрономо-геодезического общества

*

Редактор издательства *В. Г. Бергаут*
Технический редактор *Л. Епифанова*

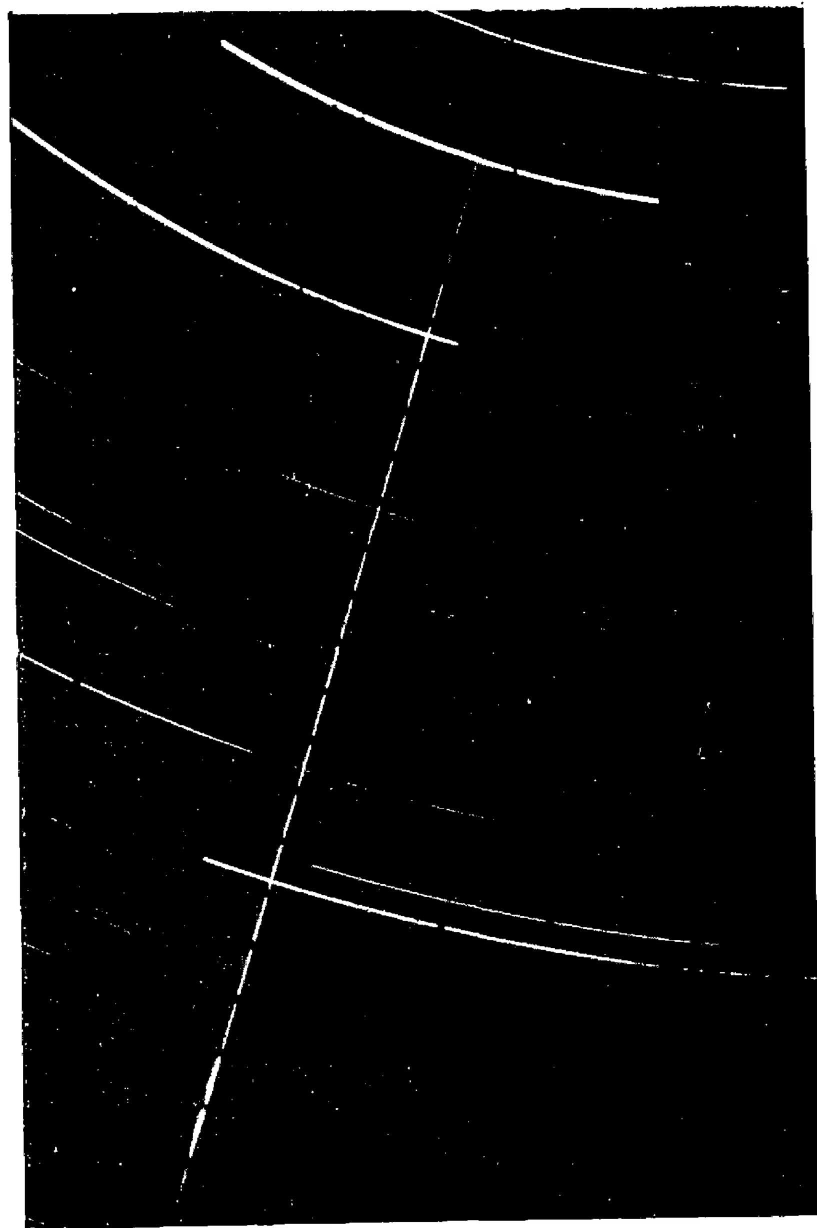
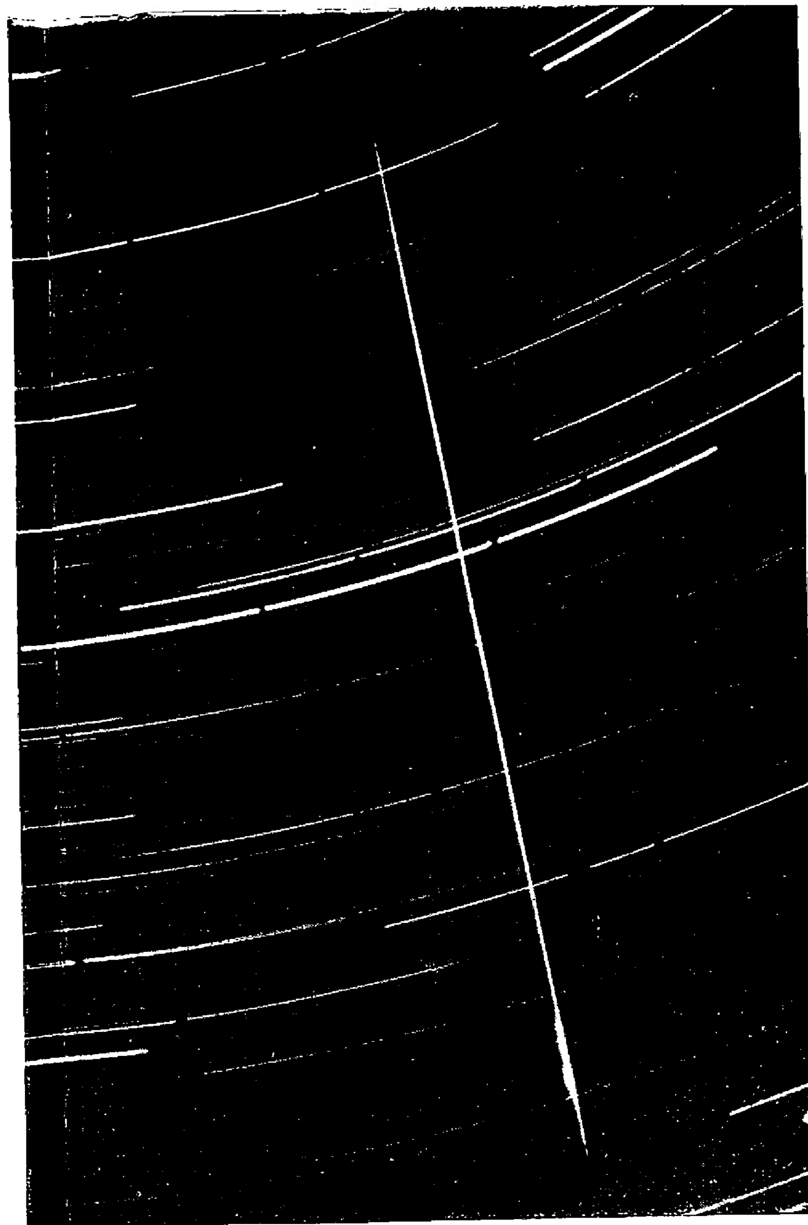
*

РИСО АН СССР № 91-20 В. Сдано в набор 20/X 1960 г. Подписано к печати 21/I 1961 г.
Формат 60×92 1/16. Печ. л. 3,5+1 вкл. Уч.-издат. л. 3,24+0,06 вклеек
Тираж 1700 экз. Т-00224 Изд. № 5072 Тип. зак. № 1202

Цена 24 коп.

Издательство Академии наук СССР. Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография Издательства АН СССР. Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Фиг. 14. Базисная фотография метеора 13 августа 1956 г. (Симферопольская метеорная станция)